



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG
BROOKLYN SERPONG MENGGUNAKAN PRECAST
DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN
KHUSUS (SRPMK)**

SONDHA MAHENDRA
NRP. 0311134000027

Dosen Pembimbing I
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

Dosen Pembimbing II
Prof. Tavio. ST. MT. PhD

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG
BROOKLYN SERPONG MENGGUNAKAN PRECAST
DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN
KHUSUS (SRPMK)**

SONDHA MAHENDRA
NRP. 03111340000027

Dosen Pembimbing I
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

Dosen Pembimbing II
Prof. Tavio. ST. MT. PhD

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Surabaya
2018



FINAL PROJECT – RC14-1501

MODIFICATION IN STRUCTURAL DESIGN OF BROOKLYN SERPONG APARTEMENT USING PRECAST SYSTEM ORDER BEARERS SPECIAL MOMENTS (SRPMK)

SONDHA MAHENDRA
NRP. 03111340000027

Academic Supervisor I
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

Academic Supervisor II
Prof. Tavio. ST. MT. PhD

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi sepuluh Nopember
Surabaya 2018

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG
BROOKLYN SERPONG MENGGUNAKAN PRECAST
DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN
KHUSUS (SRPMK)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Struktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SONDHA MAHENDRA

NRP. 03111340000027

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka (Pembimbing 1)
2. Prof. Tavio. ST. MT-PhD (Pembimbing 2)



**SURABAYA
JULI 2018**

**Perencanaan Modifikasi Gedung Brooklyn Serpong
Menggunakan Precast Dengan Sistem Rangka Pemikul
Momen Khusus (SRPMK)**

NAMA : Sondha Mahendra
NRP : 03111340000027
Jurusan : Teknik Sipil
Dosen Pembimbing :
Prof., Dr., Ir., I Gusti Putu Raka
Prof. Tawio ST., MT., Ph. D.

ABSTRAK

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan keteknisipilan dan teknologi di dunia, maka tuntutan terhadap pekerjaan konstruksi yang cepat dan efisien sering kali terjadi, terlebih pada kasus bangunan bertingkat. Struktur Gedung Apartement Brooklyn di Serpong telah dirancang dengan menggunakan beton metode cor setempat (cast in place). Gedung ini akan dimodifikasi dengan metode pracetak. Elemen struktur yang akan direncanakan menggunakan beton pracetak adalah balok, pelat dan tangga, sedangkan kolomnya tetap menggunakan cor setempat.

Metode pracetak merupakan metode konstruksi yang mempunyai banyak kelebihan dibanding dengan metode konvensional. Karena kelebihannya tersebut, penggunaan metode ini telah mengalami perkembangan yang sangat pesat di dunia, termasuk di Indonesia. Kelebihan-kelebihan dari metode pracetak antara lain yaitu waktu pelaksanaannya lebih singkat, sehingga bangunan dapat segera difungsikan. Keuntungan yang diharapkan dari pengoperasian bangunan juga bisa segera dinikmati. Kontrol kualitas berupa mutu beton dan dimensi elemen menjadi lebih akurat karena elemen-elemen gedung sudah dicetak terlebih dahulu di pabrik. Keterbatasan areal lokasi proyek pun tidak

menjadi masalah karena pada metode pracetak tidak memerlukan lahan yang luas untuk penyimpanan material selama proses pengerjaan konstruksi berlangsung. Namun perlu diingat. Karenanya metode pracetak akan lebih efisien jika diaplikasikan pada gedung tipe tipika.

Perencanaan gedung ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai dengan zona gempa tinggi. Perencanaan tulangan lentur, geser, dan elemen pracetak menggunakan tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (RSNI 03-2847-201X), untuk perencanaan beban gravitasi, seperti beban mati dan beban hidup menggunakan tata cara perhitungan pembebanan untuk bangunan gedung (SNI 03-1727-2012), dan untuk perencanaan beban lateral, seperti beban gempa menggunakan tata cara perencanaan ketahanan gempa (SNI 03-1726-2012)

MODIFICATION IN STRUCTURAL DESIGN OF BROOKLYN SERPONG APARTEMENT USING PRECAST SYSTEM ORDER BEARERS SPECIAL MOMENTS (SRPMK)

Name : Sondha Mahendra
NRP : 03111340000027
Departement : Teknik Sipil
Supervisor : 1. Prof., Dr., Ir., I Gusti Putu Raka
2. Prof. Tavier ST., MT., Ph. D.

ABSTRAK

Along with the development of civil science and technology in the world, the demand for fast and efficient construction work often occurs, especially in the case of multi-storey buildings. The structure of the Brooklyn Apartement Building in Serpong has been designed using the local cast method cast (cast in place). This building will be modified by precast method. The structural elements to be planned using precast concrete are beams, plates and ladders, while the columns still use the local cast.

Precast method is a construction method that has many advantages compared with conventional method. Because of its advantages, the use of this method has experienced rapid growth in the world, including in Indonesia. The advantages of precast method include the shorter implementation time, so the building can be functioned immediately. The benefits expected from the operation of the building can also be enjoyed immediately. Quality control in the form of quality of concrete and dimensions of the elements to be more accurate because the elements of the building has been printed first in the factory. The limited area of the project location is not a problem because the precast method does not

require a large area of land for storage of materials during the construction process takes place. But keep in mind. Therefore precast method will be more efficient if applied to the building type typik.

Planning this building using a special moment bearer frame system (SRPMK) in accordance with the high earthquake zone. Planning of reinforcement reinforcement, shear, and precast elements using concrete structure calculation procedure for buildings (RSNI 03-2847-201X), for gravity load planning, such as dead load and live load using the loading calculation procedure for building building (SNI 03- 1727-2012), and for lateral load planning, such as earthquake load using earthquake resistance planning (SNI 03-1726-2012)

KATA PENGANTAR

Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi dengan judul “Perencanaan Modifikasi Gedung Brooklyn Serpong Menggunakan Precast Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) ”. Proposal skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mengerjakan skripsi pada program Strata-1 di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis menyadari dalam penyusunan proposal skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Karena itu pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof., Dr., Ir., I Gusti Putu Raka dan Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D., selaku dosen pembimbing dalam penyusunan proposal tugas akhir.
2. Segenap dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Orang tua, saudara-saudara kami, atas doa, bimbingan, serta kasih sayang yang selalu tercurah selama ini
4. Sahabat-sahabat Teknik Sipil ITS 2013 yang selalu mendukung pembuatan proposal tugas akhir ini.

Kami menyadari skripsi ini tidak luput dari berbagai kekurangan. Penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan dan perbaikannya sehingga akhirnya skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi bidang pendidikan dan penerapan di lapangan serta bisa dikembangkan lagi lebih lanjut.

Surabaya, 10 Januari 2017

Penulis

(Halaman ini sengaja dikonsongkan...)

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 UMUM	5
2.2 Tinjauan Elemen Pracetak	5
2.3 Peraturan Perancangan	5
2.4 Elemen Struktur Pracetak	6
2.5 Prinsip Sambungan Pracetak	6
2.6 Tipe Sambungan Pracetak	7
2.7 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	7
2.8 Kategori Desain Seismik	8
2.10 Persyaratan Sistem Rangka Ganda	9
BAB III METODOLOGI	11

3.1	Pencarian dan Pengumpulan Data	12
3.2	Pencarian Literatur	12
3.3	Sistem Struktur	13
3.4	Preliminary Disgn Bangunan Atas	13
3.4.1	Penentuan Dimensi Elemen Struktur.....	13
3.4.1.1	Dimensi Plat dan Balok Anak	13
3.4.1.2	Dimensi Balok Induk.....	14
3.4.1.3	Dimensi Kolom	15
3.5	Analisa Struktur Sekunder.....	15
3.5.1	Perencanaan Dimensi Pelat	15
3.5.2	Perencanaan Tangga.....	16
3.5.3	Titik Angkat dan Sokong.....	16
3.5.3.1	Pengangkatan Pelat.....	16
3.5.3.2	Pengangkatan Balok Pracetak	18
3.6	Analisa Pembebanan	19
3.7	Perencanaan Sambungan.....	23
3.7.1	Perencanaan Sambungan Pada Balok dan Kolom...23	
3.7.2	Perencanaan Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak	24
3.7.3	Perencanaan Sambungan Balok dengan Pelat	25
3.8.2	Perencanaan Pondasi	26
3.9	Gambar Rencana	26
BAB IV PEMBAHASAN		28
4.1	Umum.....	28

4.3.1	Data Perencanaan	28
4.3.2	Perencanaan Dimensi Balok	28
4.3.3	Perencanaan Dimensi Balok Induk.....	28
4.3.4	Perencanaan Dimensi Balok Anak	30
4.3.5	Perencanaan Tebal Pelat.....	31
4.3.6	Perencanaan Tebal Dinding Geser.....	33
4.2	Permodelan Struktur	33
4.3.1	Umum	33
4.3.2	Disain Permodelan Struktur.....	34
4.3.3	Pembebanan Gravitasi	34
4.3.4	Pembebanan Gempa Dinamis.....	36
4.3.5	Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental (T)	39
4.3.6	Kontrol Gaya Geser Dasar (Base Shear)	40
4.3.7	Kontrol Dual System	44
4.3.8	Kontrol Partisipasi Massa.....	44
4.3.9	Kontrol Drift.....	46
4.3	Perencanaan Struktur Sekunder.....	49
4.5.1	Struktur Pelat Pracetak	49
4.5.2	Struktur Balok Anak Pracetak	50
4.3.1	Perencanaan Tangga	78
4.4	Perencanaan Struktur Primer	86
4.3.1	Perencanaan Balok Induk	86
4.3.2	Perencanaan Kolom.....	104
4.3.3	Disain Sambungan.....	111

4.3.4	Perencanaan Dinding Geser (Shear Wall)	121
4.3.5	Disain Pondasi	130
4.5	Metode pelaksanaan	141
4.5.1	Pengangkatan dan Penempatan Crane	141
4.5.2	Pekerjaan Elemen Kolom	142
4.5.3	Pemasangan Elemen Balok Induk	142
4.5.4	Pemasangan Elemen Balok Anak	143
4.5.5	Pemasangan Elemen Pelat	143
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		145
5.1	Kesimpulan	145
5.2	Saran	146
DAFTAR PUSTAKA		147

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Kategori Desain seismik.....	9
Tabel 3. 1 Faktor Pengali.....	19
Tabel 3. 2 Beban mati pada struktur.....	20
Tabel 3. 3 Beban hidup pada struktur.....	20
Tabel 4. 1 Rekap Pembebanan Gravitasi.....	35
Tabel 4. 2 Pembebanan Gravitasi pada ETABS.....	36
Tabel 4. 3 Koefisien Batas Atas Perioda Gedung.....	40
Tabel 4. 4 Berat Efektif Struktur	41
Tabel 4. 5 Reaksi Beban Gempa Arah X dan Y	42
Tabel 4. 6 Reaksi Beban Gempa Arah X dan Y Setelah Di Berikan Faktor Skala	43
Tabel 4. 7 Reaksi Perletakan dan Persentase Gaya Geser yang ..	44
Tabel 4. 8 Modal Partisipasi Massa.....	45
Tabel 4. 9 Batas Simpangan Gedung.....	46
Tabel 4. 10 Gempa Arah X.....	47
Tabel 4. 11 Gempa Arah Y.....	48
Tabel 4. 12 Perhitungan Mpr BI.....	100
Tabel 4. 13 Daya Dukung Tanah.....	133
Tabel 4. 14 Spesifikasi tiang pancang WIKA beton.....	135

(Halaman ini sengaja dikonsongkan...)

DAFTAR GMABAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir	11
Gambar 3. 2 Pengangkatan Pelat dengan metode 4 titik	17
Gambar 3. 3 Pengangkatan Pelat dengan metode 8 titik	18
Gambar 3. 4 Pengangkatan Balok	19
Gambar 3. 5 Sambungan balok dengan kolom	23
Gambar 3. 6 Parameter geometri konsol pendek	24
Gambar 3. 7 Sambungan balok induk dengan balok anak	25
Gambar 3. 8 Sambungan balok induk dengan pelat	26
Gambar 4. 1 Potongan Penampang Balok Induk 30/40 cm.....	31
Gambar 4. 2 Permodelan Struktur Pada ETABS.....	34
Gambar 4. 3 Peta untuk menentukan (a) perioda pendek 0.2 detik (S _s) (b) perioda 1 detik (S ₁).....	37
Gambar 4. 4 Grafik Respon Spektrum Desain	39
Gambar 4. 12 Momen Saat Pengangkatan Balok Anak	73
Gambar 4. 13 (1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL....	77
Gambar 4. 14 <i>JENKA Lifter</i>	77
Gambar 4. 15 Ketebalan Tangga	79
Gambar 4. 16 Beban Pada Tangga	81
Gambar 4. 17 Balok yan ditinjau.....	87
Gambar 4. 18 Pembebanan BI.1 Sebelum Komposit	89
Gambar 4. 19 Momen saat pengangkatan BI.1.....	104
Gambar 4. 20 Output spColumn.....	107
Gambar 4. 21 Output spColumn (setelah Mpr) K1 Arah X	108
Gambar 4. 22 Output spColumn (setelah Mpr) K1 Arah y	109
Gambar 4. 23 Geometrik konsol pendek	112
Gambar 4. 24 Dinding Geser x	124
Gambar 4. 25 Output spColumn Arah X	125
Gambar 4. 26 Output spColumn Arah Y	125
Gambar 4. 27 Dinding Geser y	129
Gambar 4. 28 Output spColumn Arah X	129

Gambar 4. 29 Output spColumn Arah Y	130
Gambar 4. 30 Kombinasi pembebanan	130
Gambar 4. 31 Defleksi tiang pancang	135
Gambar 4. 32 Kontrol tiang pancang	136
Gambar 4. 33 keliling geser tiang pancang	137
Gambar 4. 34 Lokasi kritis momen arah X	138
Gambar 4. 35 Lokasi kritis momen arah Y	139
Gambar 4. 36 Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom	142

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan jumlah penduduk di Indonesia yang bertambah begitu pesat, maka kebutuhan akan tempat hunian seperti hotel, dan gedung pusat kegiatan ekonomi atau perkantoran untuk menunjang berbagai kehidupan masyarakat pun semakin meningkat. Bangunan gedung biasanya dibangun dengan metode konvensional dimana semua bahan konstruksi yang diperlukan dicetak di tempat proyek konstruksi. Dalam kondisi ini, tuntutan terhadap pekerjaan konstruksi yang cepat dan efisien sering kali terjadi, terlebih pada kasus bangunan bertingkat. Pembangunan gedung – gedung bertingkat yang meningkat pesat mengharuskan adanya suatu metode yang dapat dilakukan dengan cepat dan efisien tanpa mengurangi kemampuan bangunan tersebut dalam menerima beban. Terlebih lagi pada pemerintahan sekarang yang berfokus pada pembangunan infrastruktur sangat membutuhkan metode yang dapat merampungkan pekerjaan pembangunan dengan cepat. Menanggapi hal tersebut, metode beton pracetak merupakan alternatif yang dinilai tepat untuk dilaksanakan.

Metode pracetak merupakan metode konstruksi yang mempunyai banyak kelebihan dibanding dengan metode konvensional. Karena kelebihannya tersebut, penggunaan metode ini telah mengalami perkembangan yang sangat pesat di dunia, termasuk di Indonesia. Kelebihan-kelebihan dari metode pracetak antara lain yaitu waktu pelaksanaannya lebih singkat, sehingga bangunan dapat segera difungsikan. Keuntungan yang diharapkan dari pengoperasian bangunan juga bisa segera dinikmati. Kontrol kualitas berupa mutu beton dan dimensi elemen menjadi lebih akurat karena elemen-elemen gedung sudah dicetak terlebih dahulu di pabrik. Keterbatasan areal lokasi proyek pun tidak menjadi masalah karena pada metode pracetak tidak memerlukan lahan yang luas untuk penyimpanan material selama proses pengerjaan konstruksi berlangsung. Namun perlu diingat. Karenanya metode

pracetak akan lebih efisien jika diaplikasikan pada gedung tipe tipikal.

Pada gedung yang memiliki tipe tipikal akan sangat tepat bila alternatif metode beton pracetak ini diterapkan. Karena pembuatan pracetak dengan bentuk yang seragam akan mempermudah proses pembuatan beton pracetak itu sendiri, sehingga tentunya akan menghemat waktu dan biaya. Dan juga pada gedung tipe ini mempunyai elemen yang tipikal sehingga lebih mudah dalam pelaksanaannya. Harus diperhatikan juga dalam penerapan beton pracetak memiliki sambungan yang tidak kaku sehingga harus memperhatikan wilayah gempa dimana bangunan akan dibangun. Wilayah dengan zona gempa yang relative rendah akan membuat penerapan beton pracetak akan lebih efisien.

Pembangunan apartement Brooklyn di Serpong salah satu cara untuk jawaban atas perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya ilmu di bidang konstruksi. Untuk membangun gedung Apartement Brooklyn Serpong dengan cepat dan efisien. Dalam perencanaannya yang menggunakan metode konvensional akan dilakukan modifikasi, yaitu dilaksanakan dengan metode beton pracetak. Pelaksanaan metode pracetak meliputi semua struktur gedung kecuali kolom.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam perancangan modifikasi struktur gedung Apartement Brooklyn Serpong menggunakan metode pracetak terdapat beberapa masalah yang timbul, yaitu :

1. Bagaimana merencanakan preliminary design pada gedung Apartement Brooklyn?
2. Bagaimana menghitung pembebanan struktur Apartement Brooklyn?
3. Bagaimana merancang komponen struktur gedung menggunakan metode pracetak?
4. Bagaimana merencanakan detail sambungan komponen-komponen beton pracetak?

5. Bagaimana merancang pondasi yang stabil?
6. Bagaimana menuangkan hasil perancangan gedung dalam gambar teknik yang baik?

1.3 Tujuan

Maksud dan tujuan dari Tugas Akhir ini adalah untuk mendapatkan hasil perancangan modifikasi struktur gedung yang memenuhi persyaratan keamanan konstruksi bangunan gedung, antara lain :

1. Merancang komponen struktur gedung menggunakan metode pracetak.
2. Merancang pondasi yang stabil.
3. Merancang detailing sambungan komponen beton pracetak.
4. Menuangkan hasil perancangan gedung tersebut ke dalam gambar teknik yang baik.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam perencanaan gedung Apartement Brooklyn Serpong ini adalah

1. Perencanaan menggunakan teknologi beton pracetak (non-prategang) pada semua elemen struktur (pelat, balok, dinding dan tangga) kecuali dinding geser dan kolom menggunakan sistem cor setempat (*cast in site*).
2. Perencanaan tidak meninjau dari segi produksi beton pracetak, segi analisis anggaran biaya dan manajemen konstruksi, dan tidak memperhitungkan *electrical* dan *plumbing*.
3. Perencanaan tidak menghitung *basement*
4. Menggunakan program bantu ETABS, AutoCad dan PCACOL

1.5 Manfaat

Manfaat dari perencanaan gedung Apartement Brooklyn Serpong ini adalah :

1. Mampu merancang struktur gedung menggunakan metode pracetak yang memenuhi persyaratan keamanan konstruksi bangunan gedung.

2. Menambah wawasan penulis mengetahui perbandingan antara pembangunan gedung metode konvensional dengan metode pracetak

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 UMUM

Beton pracetak menurut SNI-2847-2013 adalah elemen struktur yang dicetak di tempat lain dari posisi akhirnya dalam struktur. Pada dasarnya perbedaan dengan beton biasa tidak jauh berbeda. Yang membedakan beton pracetak dengan beton biasa dari segi fabrikasinya.

Segmen-segmen beton pracetak yang dibuat di tempat tertentu (fabrikasi) biasanya dilakukan secara masal. Setelah itu adanya pengangkatan segmen-segmen ke lokasi proyek. Dalam pengerjaannya beton diangkat dan dipasang sesuai dengan lokasi struktur tersebut. Hal itu membuat beton pracetak membutuhkan tulangan khusus dalam pengangkatan.

2.2 Tinjauan Elemen Pracetak

Seperti yang diketahui bahwa beton pracetak dalam pembuatannya dilakukan di lokasi proyek atau di pabrik. karna hal itu agar komponen pracetak sesuai dari yang direncanakan dan tidak mengalami kesulitan ketika proses pembuatan, hendaknya sudah mengetahui macam-macam elemen struktur pracetak yang umum digunakan dan diproduksi sehingga dapat diterapkan. Faktor eksternal yang harus diperhatikan biasanya pada saat pengiriman beton pracetak harus terjaga mutunya.

2.3 Peraturan Perancangan

Desain pada perancangan dilakukan sesuai dengan acuan pada peraturan-peraturan sebagai berikut :

1. Tata Cara Perhitungan Struktur untuk Beton Bangunan gedung SNI 03-2847-2013
2. Struktur Gedung Tahan Gempa SNI 03-1726-2012
3. Pedoman perancangan pembebanan indonesia SNI 03-1727-2013
4. ACI 381 M-08

2.4 Elemen Struktur Pracetak

- Pelat

Untuk pelat pracetak, jenis jenis yang ada & biasa digunakan:

1. Pelat pracetak berlubang (Hollow Core Slab)
2. Pelat pracetak tanpa lubang (Solid Beam)
3. Pelat pracetak Double Tees dan Single Tees

- Balok

Balok memikul beban pada plat dan beban sendiri. Selain itu balok juga berfungsi memikul beban yang bekerja pada struktur bangunan.

Untuk balok pracetak jenis yang digunakan biasanya ada tiga :

1. Balok berpenampang persegi
Bentuk ini digunakan apabila elemen lantai didukung di atas balok
2. Balok berpenampang L (L-shaped beam)
3. Balok berpenampang T terbalik (inverted Tee beam)

2.5 Prinsip Sambungan Pracetak

Sambungan merupakan bagian yang sangat penting dalam menahan gaya-gaya yang terjadi untuk menjaga agar balok dan kolom tetap menyatu sehingga dapat memikul beban yang diterima. Adapun prinsip pada pembuatan sambungan untuk beton pracetak adalah sebagai berikut:

1. Sambungan kuat (*strong connection*), bila pada perencanaan sambungan tiap elemen struktur pracetak tetap memiliki perilaku yang cenderung elastis ketika gempa kuat, maka sistem sambungan harus terbukti secara teoritis memiliki hasil kekuatan yang sama dengan yang dimiliki struktur sambungan ketika beton monolit.
2. Sambungan daktail (*ductile connection*), bila pada sambungan boleh terjadi deformasi inelastis, maka sistem sambungan harus terbukti secara teoritis memenuhi persyaratan kehandalan dan kelakuan struktur tahan gempa.

2.6 Tipe Sambungan Pracetak

Secara umum sambungan komponen pracetak bisa dibagi menjadi dua metode, yaitu menggunakan metode sambungan kering dan metode sambungan basah. Sambungan kering adalah metode penyambung komponen beton pracetak dimana sambungan tersebut dapat berfungsi secara efektif. Yang dimaksud sambungan kering adalah alat sambung berupa las dan baut.

Namun sambungan yang akan dipakai dalam pembuatan struktur ini yaitu sambungan basah. Dimana sambungan basah adalah sambungan yang menggunakan tulangan biasa sebagai penyambung atau penghubung antar elemen beton. Elemen pracetak yang sudah berada di tempat akan di cor bagian tepat di ujung agar dapat tersambung elemen satu dengan yang lain yang bertujuan agar menjadi struktur yang monolit. Sambungan jenis ini biasanya sering digunakan dalam pelaksanaan selain masih banyaknya kekhawatiran akan sambungan kering terhadap gempa namun juga membuat struktur yang lebih kaku. Walaupun pengerjaan tidak secepat sambungan kering.

2.7 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Ketika merencanakan pada wilayah yang memiliki zona gempa tinggi, yang masuk wilayah 5 dan 6, maka untuk memikul gaya-gaya akibat gempa harus menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) atau sistem dinding struktur khusus (SDSK) atau sistem dual khusus.

Menurut SNI-176-2013 pasal 3.53, tentang perencanaan bangunan terhadap gempa menyebutkan bahwa SRPMK merupakan sistem struktur yang pada dasarnya memiliki ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur.

Persyaratan-persyaratan fundamental untuk SRPMK yang daktail adalah:

1. Sedapatnya menjaga keteraturan pada struktur bangunan.

2. Cukup kuat menahan gempa yang ditentukan berdasarkan kemampuan disipasi energi.
3. Cukup kaku untuk membatasi penyimpangan.
4. Hubungan balok kolom cukup kuat menahan rotasi yang terjadi.
5. Komponen-komponen balok dan kolom mampu membentuk sendi plastis tanpa mengurangi kekuatannya yang berarti.
6. Balok-balok mendahului terbentuknya sendi-sendi plastis yang tersebar diseluruh sistem struktur sebelum terjadi di kolom-kolom.
7. Tidak ada kolom yang lebih lemah yang akan menyebabkan sendi-sendi plastis di ujung atas dan bawah pada kolom-kolom lain ditingkat itu yang menjurus pada keruntuhan seluruh struktur.

Konsep “*strong column weak beam*” dalam sistem rangka pemikul momen khusus mengandung arti bahwa konstruksi kolom yang ada harus lebih kaku dari pada balok, sehingga kerusakan struktur ketika terjadi beban lateral/gempa, terlebih dahulu terjadi pada balok, lalu kerusakan struktur terjadi pada kolom. Dengan kata lain, balok-balok mendahului pembentukan sendi-sendi plastis yang tersebar di seluruh sistem sturuktur sebelum terjadi di kolom-kolom

2.8 Kategori Desain Seismik

Arah penerapan beban gempa yang digunakan dalam desain harus merupakan arah yang akan menghasilkan pengaruh beban paling kritis. Arah penerapan gaya gempa diijinkan untuk memenuhi persyaratan ini menggunakan prosedur SNI 1726:2012 pasal 7.5.2 untuk kategori desain seismik B, SNI 1726:2012 pasal 7.5.3 untuk kategori desain seismik C, dan SNI 1726:2012 pasal 7.5.4 untuk kategori desain seismik D,E dan F. Adapula penentuan desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Tabel 2. 1 Parameter Kategori Desain seismik

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

2.9 Persyaratan Penulangan Beton Pracetak Berdasarkan Kategori Desain Seismik

Rangkaian struktur merupakan bagian yang paling penting karena sebagai penahan gaya-gaya yang terjadi agar bangunan dapat berdiri dengan kokoh. Oleh karena itu dibutuhkan struktur urama dengan tulangan yang mampu menahan gaya gempa. Maka haruslah mempertimbangkan syarat penulangan yang di atur pada peraturan SNI 1726:2012. Pembagian kriteria tulangan pada bangunan sesuai dengan kategori desain seismik. Berikut ini merupakan syarat penulangan sesuai kategori desain seismik:

- Tulangan untuk tiang beton nonprategang pracetak (kategori desain seismik C) diatur dalam SNI 1726:2012 pasal 7.14.2.1.5
- Tulangan untuk tiang beton nonprategang pracetak (kategori desain seismik D-F) diatur dalam SNI 1726:2012 pasal 7.14.2.2.4

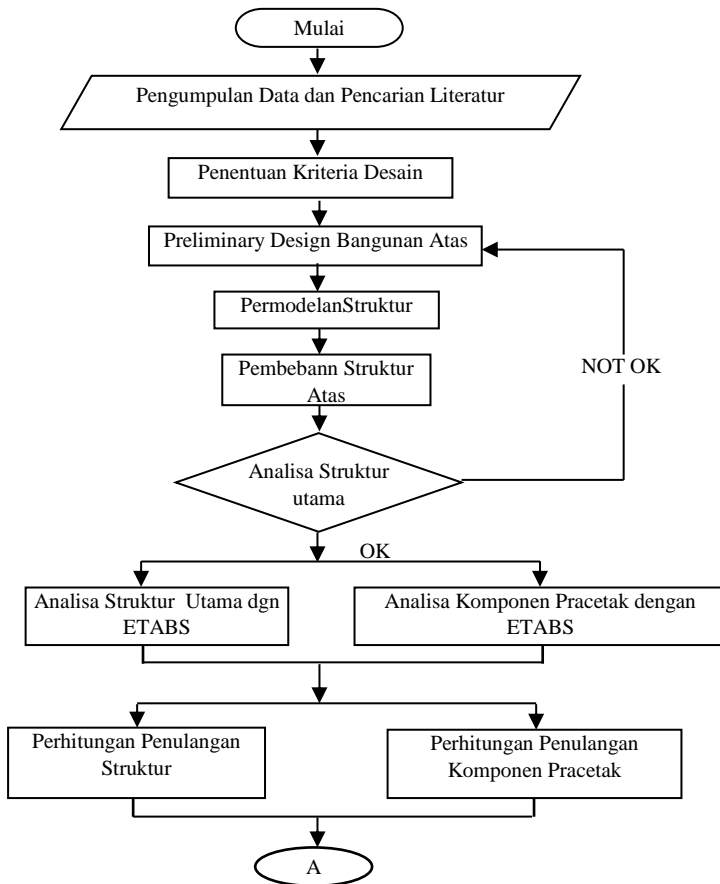
2.10 Persyaratan Sistem Rangka Ganda

Sistem penahan gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang di gunakan adalah sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus harus dikenakan pada setiap sistem sesuai pada :

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat- lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesa- ran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_s (m) c					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D d	E d	F e	
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan									
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2%	4	TB	TB	TB	TB	TB	
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2%	5%	TB	TB	TB	TB	TB	
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2%	5%	TB	TB	TB	TB	TB	
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2%	5	TB	TB	TI	TI	TI	
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2%	4	TB	TB	TB	TB	TB	
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2%	5	TB	TB	TB	TB	TB	
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7%	2%	6	TB	TB	TB	TB	TB	
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2%	6	TB	TB	TB	TB	TB	
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2%	5	TB	TB	TI	TI	TI	
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5%	3	5	TB	TB	TB	TB	TB	
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3%	TB	TB	TI	TI	TI	
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2%	5	TB	TB	TB	TB	TB	
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2%	6%	TB	TB	TB	TB	TB	

BAB III METODOLOGI

Pada perencanaan Apartement Brooklyn Serpong yang akan dibangun di Serpong, tentunya membutuhkan rencana yang berurutan. Maka untuk merencanakan tahapan secara jelas dibutuhkan diagram alir sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.1 Pencarian dan Pengumpulan Data

1. Data Umum

- Nama Gedung : Apartement Brooklyn Serpon
- Lokasi : Alam Sutra
- Fungsi : Apartement
- Jumlah Lantai : 26
- Tinggi Bangunan : +106.30
- Struktur Utama : Struktur beton bertulang

2. Data Material

- Mutu Beton ($f'c$) : -Mpa
- Mutu Baja (f_y) : -Mpa
- Data Tanah :

Bangunan akan dimodifikasi menggunakan metode beton *precast* dan data yang direncanakan yaitu :

1. Data Umum Bangunan

- Nama gedung : Apartement Brooklyn Serpong
- Lokasi : Alam Sutra
- Fungsi : Apartement
- Jumlah lantai : 26
- Tinggi bangunan : +106.30
- Struktur utama : Beton pracetak (non prategang)

2. Data Bahan :

- Kekuatan tekan beton ($f'c$) = 40MPa
- Tegangan leleh baja (f_y) = 420 Mpa
- Data Tanah :

3. Data Gambar

- Gambar Sruktur
- Gambar arsitektur

3.2 Pencarian Literatur

Beberapa literatur serta peraturan gedung tersebut:

- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Tata cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013)
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 03-1726-2012).

- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Rumah dan Gedung (RSNI 03-1727-2013).
- Departemen Pekerjaan Umum, 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983).
- Departemen Pekerjaan Umum. 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBT 1971).
- Kim S. Elliot. 2002. Precast Concrete Structure.

3.3 Sistem Struktur

Sistem struktur yang digunakan harus memperhatikan faktor terhadap gempa sesuai dengan SNI 03 – 1726 – 2012 . Maka dapat ditentukan pembagian berdasarkan sifat tanah sebagai berikut:

1. Situs SA dan SB (Resiko Gempa Rendah). Maka menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa.
2. Situs SC dan SD (Resiko Gempa Sedang). Maka menggunakan sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.
3. Situs SE dan SF (Resiko Gempa Tinggi). Desain menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

Karena perencanaan gedung apartement terletak pada zona gempa 3 (sedang) yang dirubah dengan asumsi terletak pada wilayah gempa tinggi, sehingga untuk merencanakan gedung apartement digunakan sistem struktur berupa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Dengan syarat-syarat rencana sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.

3.4 Preliminary Disgn Bangunan Atas

3.4.1 Penentuan Dimensi Elemen Struktur

3.4.1.1 Dimensi Plat dan Balok Anak

Langkah-langkah dalam menentukan perhitungan dimensi plat adalah sebagai berikut:

1. Menentukan plat termasuk plat satu arah (one-way slab) atau plat dua arah (two-way slab).
2. Tebal minimum plat satu arah (one-way slab) terdapat pada SNI-03-2847-2013 pasal 9.5.2.1 (tabel 9.5(a)). Sedangkan

ketentuan untuk plat dua arah sesuai dengan SNI 03-2847-2013. Persamaan 9-13.

3. Dimensi pelat minimum dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi syarat SNI 03-2847-2013, persamaan 9-13.
 - a) Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan :
 - a. Tanpa panel drop : 125 mm
 - b. Dengan panel drop : 100 mm
 - b) Untuk α_m lebih besar dari 2,0 , ketebalan plat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)}$$

Dan tidak boleh kurang dari 125 mm

- c) Untuk α_m lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

- d) Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekuatan α_f tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan Pers. (9-12) atau (9-12) harus dinaikan paling tidak 1- persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

3.4.1.2 Dimensi Balok Induk

Tebal minimum yang berlaku untuk komponen balok non-prategang dapat dilihat pada SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.1 tabel 9.5. Nilai tersebut bila lendutan tidak dihitung.

- $h = L/16$ digunakan apabila $f_y = 420$ Mpa
- $h = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$ digunakan apabila f_y selain 420 Mpa
- $h = L/16 (1,65 - 0,003w_c)$ digunakan apabila w_c 1400 sampai 1880 kg/m³
 Dimana, b = Lebar Balok
 h = Tinggi Balok
 L_b = Panjang Balok

3.4.1.3 Dimensi Kolom

Pada perencanaan dimensi kolom dapat digunakan perhitungan sebagai berikut:

$$A = \frac{W}{0,3 \times f'c}$$

Dimana, W = beban aksial yang diterima kolom
 $F'c$ = kuat tekan beton karakteristik
 A = luas penampang kolom

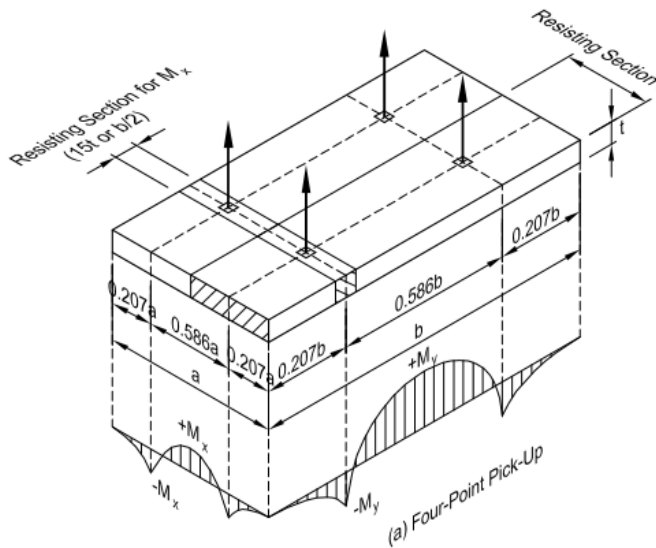
- Perencanaan tulangan lentur diatur dalam SNI 03-2847-2013 pasal 10.3.6
- Kuat geser beton bersamaan dengan adanya aksial tekan diatur dalam SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.2
- Spasi maks sengkang pada kolom menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.10.5.2
- Kontrol perlu tidaknya torsi diatur dalam SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.1

3.5 Analisa Struktur Sekunder

3.5.1 Perencanaan Dimensi Pelat

Persyaratan ketebalan minimum, h untuk pelat dua arah yang dikelilingi balok-balok diatur dalam SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.3 dengan ketentuan tabel 9.5(c)

- Perhitungan keperluan tulangan lentur sesuai dengan SNI-03-2847-2013 pasal 10.5
- Kuat geser horizontal menurut SNI 03-2847-2013 pasal 17.5
- Tulang geser horizontal menurut SNI 03-2847-2013 pasal 11.6.4



Gambar 3. 2 Pengangkatan Pelat dengan metode 4 titik
(Sumber : PCI Design Handbook, Sixth Edition, 2004, hal 5-6)

b. Delapan titik angkat

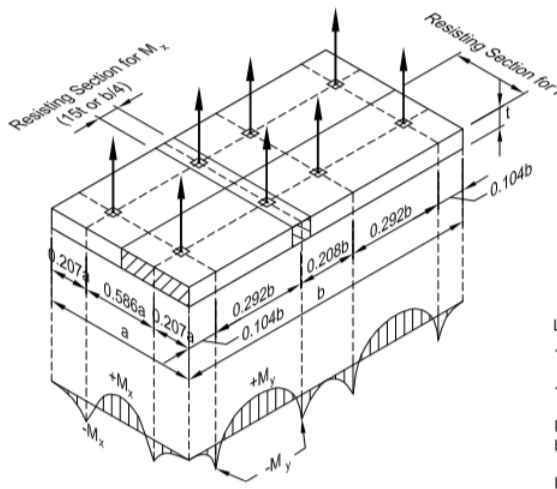
Maksimum momen (pendekatan) :

$$+M_x = -M_x = 0,0054 \cdot w \cdot a^2 \cdot b$$

$$+M_y = -M_y = 0,0027 \cdot w \cdot a \cdot b^2$$

M_x ditahan oleh penampang dengan lebar terkecil dan $15t$ atau $b/2$

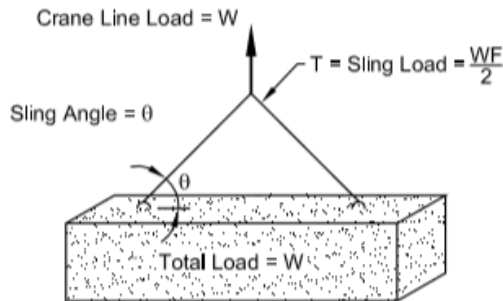
M_y ditahan oleh penampang dengan lebar $a/2$



Gambar 3. 3 Pengangkatan Pelat dengan metode 8 titik
(Sumber : PCI Design Handbook, Sixth Edition, 2004, hal 5-6)

3.5.3.2 Pengangkatan Balok Pracetak

Dalam pemasangan balok pracetak perlu diketahui bahwa balok akan mengalami pengangkatan, akan hal itu maka perlu direncanakan tulangan angkat untuk balok. Untuk pengangkatan harus menjamin elemen balok terhindar dari kerusakan. Seperti digambar menggunakan dua titik pengangkat. Nilai faktor pengali pada setiap fase dapat dilihat di tabel



Multiplication Factor "F" for the Total Load on Sling With a Sling Angle of θ					
θ	90°	75°	60°	45°	30° ^a
F	1.00	1.04	1.16	1.41	2.00
NOTE: θ is usually not less than 60°. check bi-directional sling angle.					
^a A 30° sling angle is not recommended.					

Gambar 3. 4 Pengangkatan Balok

(Sumber : PCI Design Handbook, Sixth Edition, 2004, hal 5-7)

Tabel 3. 1 Faktor Pengali

Product Type	Finish	
	Exposed aggregate with retarder	Smooth mold (form oil only)
Flat, with removable side forms, no false joints or reveals	1.2	1.3
Flat, with false joints and/or reveals	1.3	1.4
Fluted, with proper draft ^d	1.4	1.6
Sculptured	1.5	1.7
Yard handling ^b and erection ^c		
All products	1.2	
Travel ^b		
All products	1.5	

(Sumber : PCI Design Handbook, Sixth Edition, 2004, hal 5-7)

3.6 Analisa Pembebanan

Beban yang bekerja pada suatu struktur ada beberapa jenis menurut karakteristik, yaitu beban statis dan beban dinamis. Berikut ini akan menjelaskan lebih detail mengenai pembebanan sesuai dengan ketentuan berdasarkan RSNI 03-1726-2012 dan ketentuan SNI 03-2847-2013.

1) Beban Statis

Beban Mati berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) yang tertera pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 2 Beban mati pada struktur

Beban Mati	Besar Beban
Batu Alam	2600 kg / m ²
Beton Bertulang	2400 kg / m ²
Dinding pasangan ¹ / ₂ Bata	250 kg / m ²
Kaca setebal 12 mm	30 kg / m ²
Langit-langit + penggantung	18 kg / m ²
Lantai ubin semen portland	24 kg / m ²
Spesi per cm tebal	21 kg / m ²

Beban Hidup berdasarkan hidup RSNI 03-1727-2012
Tabel 4.1.

Tabel 3. 3 Beban hidup pada struktur

Beban Hidup Lantai Bangunan	Besar Beban
Lantai Perkantoran / Restoran	250 kg / m ²
Lantai Ruang-ruang Balkon	400 kg / m ²
Tangga dan Bordes	300 kg / m ²
Lantai Ruang Alat dan Mesin	400 kg / m ²
Beban Pekerja	100 kg / m ²

2) Beban Gempa

Analisa beban gempa beadasarkan SNI 03-1726-2012 meliputi :

- Penentuan respon spektrum, penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada gambar 9 dan 10 SNI-03-1726-2012
- Respon seismik (C_s)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

(Persamaan 7.8-2 SNI 03-1726-2012)

Dimana :

S_{DS} = percepatan spectrum respons disain dalam rentan periode pendek

R = faktor modifikasi respons dalam tabel 7.2-1 (SNI 03-1726-2012)

I_e = faktor keutamaan hunian yang ditentukan sesuai dengan Tabel 6.4

nilai C_s max tidak lebih dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I} \right)}$$

- Gaya geser dasar dan gaya seismik lateral

$$V = C_s \times W$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

dimana :

C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.1.1

W = berat seismik efektif menurut SNI 03-1726-2012 Pasal 7.7.2

3) Beban Angin (*Wind Load/WL*)

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 :

- Untuk struktur rangka ruang dengan penampang melintang berbentuk bujursangkar dengan arah angin 45° terhadap bidang-bidang rangka, koefisien angin untuk kedua bidang rangka di pihak angin masing-masing 0,65 (tekan) dan untuk kedua rangka di belakang angin masing-masing 0,5(isap).
- Kecuali itu, masing-masing rangka harus diperhitungkan terhadap beban angin yang bekerja dengan arah tegak lurus pada salah satu bidang rangka, koefisien angin untuk rangka pertama di pihak angin adalah 1,6 (tekan) dan untuk rangka kedua di belakang angin adalah 1,2 (isap).
- Untuk atap segitiga majemuk, untuk bidang-bidang atap di pihak angin dengan $\alpha < 65^\circ$ koefisien $(0,2\alpha - 0,4)$ (tekan), dan untuk semua bidang atap di belakang angin untuk semua α adalah 0,4 (isap).
- Tekanan tiup (beban angin) di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari.
- Pantai harus diambil minimum 40 kg/m^2

3.6.1 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.2.1

- 1) $U = 1,4 D$
- 2) $U = 1,2 D + 1,6 L$
- 3) $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$
- 4) $U = 1,0 D + 1,0 L$
- 5) $U = 0,9 D \pm 1,0 E$

Keterangan :

U : beban ultimate

D : beban mati

L : beban hidup

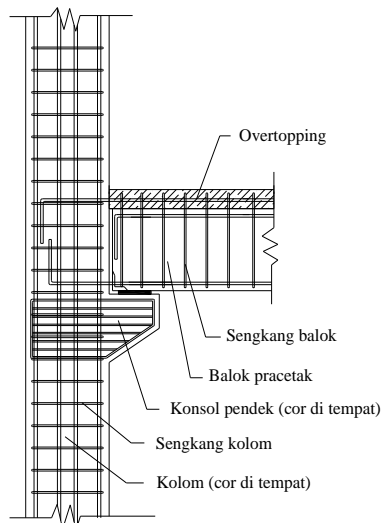
E : beban gempa

3.7 Perencanaan Sambungan

3.7.1 Perencanaan Sambungan Pada Balok dan Kolom

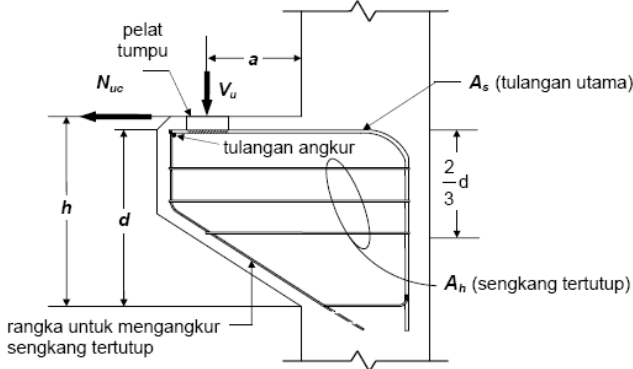
Sambungan balok pracetak dengan kolom bersifat monolit. Maka dalam merencanakan sambungan yang menghasilkan kekuatan yang relatif sama dengan balok beton cor di tempat ada beberapa hal yang perlu dilakukan, yaitu :

- Kombinasi dengan beton cor di tempat (topping), dimana permukaan balok pracetak dan kolom dikasarken dengan amplitudo 5 mm.
- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang diberikan yaitu tulangan menerus atau pemberian kait standar pada sambungan ujung.
- Pemasangan dowel dan pemberian grouting pada tumpuan atau bidang kontak antara balok pracetak dan kolom untuk mengantisipasi gaya lateral yang bekerja pada struktur.



Gambar 3. 5 Sambungan balok dengan kolom
(SNI 03- 2847-2013 pasal 7.13)

Pada perancangan sambungan balok dan kolom ini menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol pendek pada kolom kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan.

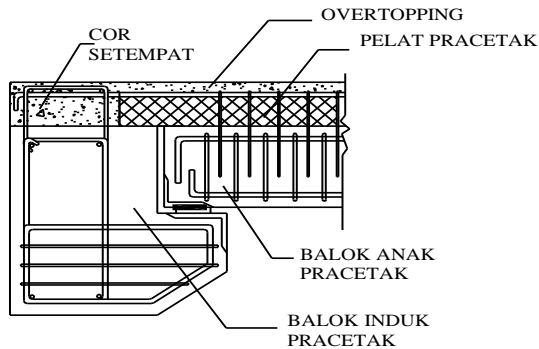


Gambar 3. 6 Parameter geometri konsol pendek
(SNI 03-2847-2013 pasal 11.8)

3.7.2 Perencanaan Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

Balok anak diletakkan menumpu pada tepi balok induk dengan ketentuan panjang landasan adalah sedikitnya $1/180$ kali bentang bersih komponen plat pracetak, tapi tidak boleh kurang dari 75 mm. Untuk membuat integritas struktur, maka tulangan utama balok anak baik yang tulangan atas maupun bawah dibuat menerus atau dengan kait standar yang pendetailannya sesuai dengan aturan SK SNI 03-2847-2013.

Dalam perancangan sambungan balok induk dengan balok anak digunakan konsol pada balok induk. Balok anak diletakkan pada konsol pendek pada balok induk, kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk ini sama dengan perencanaan konsol pada kolom.

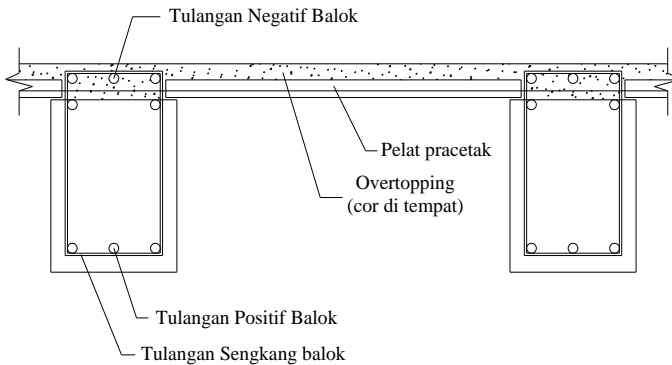


Gambar 3. 7 Sambungan balok induk dengan balok anak

3.7.3 Perencanaan Sambungan Balok dengan Pelat

Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada elemen-elemen ini, maka harus dipastikan gaya-gaya yang bekerja pada plat pracetak tersalurkan pada elemen balok. Hal ini dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut.

- Kombinasi dengan beton cor di tempat (topping), dimana permukaan pelat pracetak dan beton pracetak dikasarkan dengan amplitudo 5 mm.
- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang diberikan.
- *Grouting* pada tumpuan atau bidang kontak antara plat pracetak dengan balok pracetak.



Gambar 3. 8 Sambungan balok induk dengan pelat
(SNI 03- 2847-2013 pasal 7.13.)

3.8.2 Perencanaan Pondasi

Struktur pondasi direncanakan dengan menggunakan pondasi dalam, yaitu tiang pancang. Perhitungan kekuatan pondasi berdasarkan data tanah yang didapat dari tes sondir.

Elemen yang direncanakan antara lain :

1. Perencanaan jumlah tiang pancang yang kemudian didapatkan efisiensi tiang pancang rencana dan beban ultimate.
 2. Kontrol kekuatan tiang pancang
 3. Kontrol geser pondasi pada poer.
- (SNI 03-2847-2013 pasal 11.11)

3.9 Gambar Rencana

Penggambaran dari hasil perencanaan ditampilkan dengan gambar teknik yang dibuat menggunakan *software autocad*.

(Halaman ini sengaja dikonsongkan...)

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Umum

Preliminary desain merupakan proses perencanaan awal yang akan digunakan untuk merencanakan dimensi struktur gedung. Perencanaan awal dilakukan menurut peraturan yang ada. Preliminary desain yang dilakukan terhadap komponen struktur antara lain balok induk, balok anak, pelat, kolom, dan balok pratekan. Sebelum melakukan preliminary baiknya dilakukan penentuan data perencanaan dan beban yang akan diterima oleh struktur gedung.

4.2.1 Data Perencanaan

Data perencanaan gedung beton bertulang menggunakan sistem beton pracetak sebagai berikut :

- Fungsi Bangunan : Gedung Apartemen
- Lokasi : Alam Sutra (Serpong)
- Jumlah Lantai : 26 Ketinggian Lantai
 - a. Lantai 1-10 = 5.5 m
 - b. Lantai 11-22 = 3.50 m
- Tinggi Bangunan : 60,5 m
- Total Luas Area : 2900 m²
- Mutu Beton (f'c) : 40 Mpa
- Mutu Baja (fy) : 420 Mpa

4.2.2 Perencanaan Dimensi Balok

Dimensi balok yang direncanakan dalam preliminary design adalah sebagai berikut :

4.2.3 Perencanaan Dimensi Balok Induk

Dimensi Balok Induk direncanakan dengan :

$$h_{min} = \frac{L}{16}$$

$$b = \frac{2}{3}h$$

Dimana :

L = panjang balok (cm)

h = tinggi balok (cm)

b = lebar balok (cm)

Balok Induk dibagi menjadi :

a. Balok Induk Memanjang (BI.1) L = 550 cm

$$h_{min} = \frac{L}{16} = \frac{550}{16} = 34,47 \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 40 = 25 \text{ cm}$$

Digunakan Balok Induk Memanjang 25/40 cm

b. Balok Indung Melintang (BI.1) L = 400 cm

$$h_{min} = \frac{L}{16} = \frac{400}{16} = 25 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 25 = 16,6 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

Digunakan Balok Induk Memanjang 20/25 cm

c. Balok Induk Melintang (BI.2) L = 610 cm

$$h_{min} = \frac{L}{16} = \frac{610}{16} = 38,12 \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 40 = 26,6 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

Digunakan Balok Induk Memanjang 30/40 cm

4.2.4 Perencanaan Dimensi Balok Anak

Dimensi Balok Induk direncanakan dengan :

$$h_{min} = \frac{L}{21}$$

$$b = \frac{2}{3}h$$

Dimana :

L = panjang balok (cm)

h = tinggi balok (cm)

b = lebar balok (cm)

Balok Anak (BA.1) L = 550 cm

$$h_{min} = \frac{L}{21} = \frac{550}{21} = 26,19 \approx 30 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 30 = 20 \text{ cm}$$

Tabel 4.1 Rekapitulasi Dimensi Balok Rencana

Nama Balok Dimensi b/h (cm)

Balok Induk

BI.1 30/40

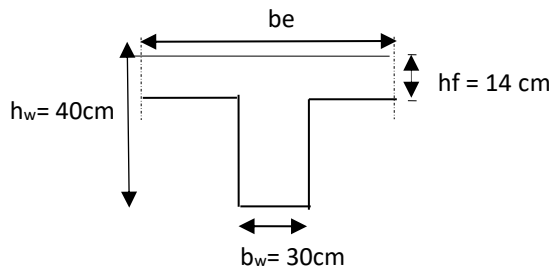
Balok Anak

BA.1 25/30

4.2.5 Perencanaan Tebal Pelat

Direncanakan 1 tipe pelat lantai dan pelat atap pracetak (S1) dengan data perencanaan sebagai berikut :

- Ukuran → 300 x 600 cm
- Tebal rencana pelat → 14 cm



Gambar 4. 1 Potongan Penampang Balok Induk 30/40 cm

Perhitungan lebar efektif :

$$\begin{aligned} \text{a) } be &= bw + 2 \times (hw - hf) \\ be &= 30 + 2 \times (40 - 14) \\ be &= 96 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } be &= bw + 8 \times hf \\ be &= 30 + 8 \times 14 \\ be &= 142 \end{aligned}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{hf}{hw} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{hf}{hw} \right) + 4 \left(\frac{hf}{hw} \right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{hf}{hw} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{hf}{hw} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{90}{30} - 1 \right) \left(\frac{14}{40} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{14}{40} \right) + 4 \left(\frac{14}{40} \right)^2 + \left(\frac{142}{30} - 1 \right) \left(\frac{14}{40} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{142}{30} - 1 \right) \left(\frac{14}{40} \right)}$$

$$k = 3,281$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times k \times b \times h^3$$

$$I_{pelat} = bs \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times 3,281 \times 30 \times 40^3$$

$$I_{pelat} = 550 \times \frac{14^3}{12}$$

$$I_{balok} = 524961 \text{ cm}^4$$

$$I_{pelat} = 125767 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_m = \frac{I_{balok}}{I_{pelat}} = \frac{524961}{125767} = 4,17 > 2$$

Sehingga harus memenuhi persyaratan SNI 2847:2013 pasal

$$\begin{aligned}
 h_{\min} &= \frac{L_n(0,8 + f_y / 1400)}{36 + 9\beta} \\
 &= \frac{550(0,8 + 420 / 1400)}{36 + 9(2,074)} \\
 &= 11,415 \text{ cm} \approx 14 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Tebal pelat yang direncanakan 14 cm telah memenuhi syarat.

4.2.6 Perencanaan Tebal Dinding Geser

Bedasarkan peraturan SNI 2847:2013 pasal 14.5.3.1 ketebalan dinding pendukung tidak boleh kurang dari 1/25 tinggi atau panjang bagian dinding yang ditopang secara lateral, diambil yang terkecil, dan tidak kurang daripada 100 mm. Dalam tugas akhir ini tebal dinding geser direncanakan sebagai berikut :

Tebal dinding geser	= 30 cm
Panjang bentang dinding	= 755 cm
Tinggi dinding Lt.1-10	= 550 cm
Tinggi dinding Lt.11-22	= 350 cm
$T \geq H/25$	$= 550/30 = 18,3 \text{ cm}$
$T \geq H/25$	$= 350/30 = 11,6 \text{ cm}$
$T \geq L/25$	$= 755/30 = 25,4 \text{ cm}$

Dengan demikian tebal dinding geser 30 cm memenuhi

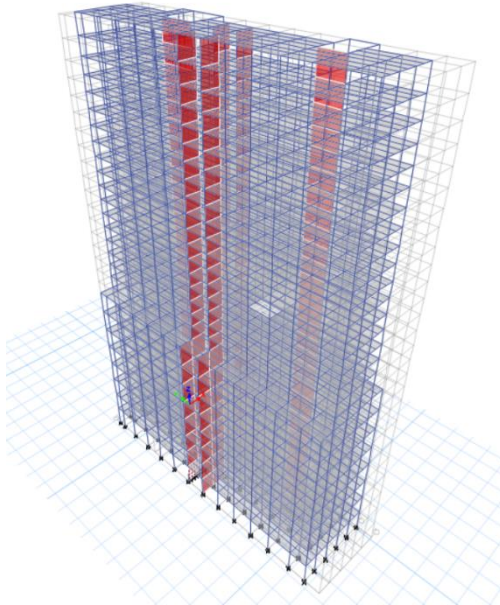
4.2 Permodelan Struktur

4.2.1 Umum

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 1727:2013, PPIUG 1983 dan SNI 2847:2013, dan pembebanan gempa dengan mengacu pada SNI 1726:2012, yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

4.4.4 Disain Permodelan Struktur

Dalam perhitungan analisis beban gempa perlu suatu pemodelan struktur. Struktur pemodelan gedung memiliki total 26 dengan tinggi total gedung $\pm 100\text{m}$. Pemodelan gedung berlokasi di Serpong.



Gambar 4. 2 Permodelan Struktur Pada ETABS

4.4.5 Pembebanan Gravitasi

Pembebanan Gravitasi berupa beban mati dan beban hidup yang bekerja pada gedung. Beban mati dan hidup yang dipehitungkan berupa

- Beban Mati (PPIUG 1983)
 - Berat sendiri beton bertulang : 24 KN/m^3
 - Berat sendiri betonprategang : 25 KN/m^3
 - Adukan finishing : $0,21 \text{ KN/m}^3$
 - Tegel : $0,24 \text{ KN/m}^3$

- Dinding setengah bata : 0,25 KN/m³
 - Plafond : 0,11 KN/m³
 - Penggantung : 0,07 KN/m³
 - Plumbing +ducting : 0,25 KN/m
- Beban Hidup (SNI 1727 : 2013)
 - Lantai Atap : 0,92 KN/m³
 - Lantai Apartement : 1,92 KN/m³

Dari analisa yang telah dilakukan berikut adalah rekap pembebanan Gravitasi pada gedung:

Tabel 4. 1 Rekap Pembebanan Gravitasi

Live load	area load	area	Load Per story
	KN/m2	m2	KN
1 th - 10 th	1.92	1197.88	2299.9296
11th-16th	1.92	763.24	1465.4208
total			44777.0112

Dead load	area load	area	Load Per story
	KN/m2	m2	KN
1 th - 10 th	0.9996	1265	1264.494
11th-16th	0.9996	935	934.626
Total			27598.956

Didapatkan total beban mati sebesar 27598.956 dan beban hidup sebesar 44777.0112

Pembebanan yang diinputkan pada ETABS haruslah mendekati yang telah di hitung secara manual sehingga pembebanan pada ETABS dapat dikatakan benar. Berikut adalah pembebanan gravitasi yang didapatkan dari ETABS.

Tabel 4. 2 Pembebanan Gravitasi pada ETABS

Load	Manual Calculation (KN)	Program calculation (KN)	Error
Dead load + structure weight	261254.892	250355.2707	4.17%
Live load	44777.0112	44780.5468	0.01%

Selisih perhitungan manual dengan SAP = **4,17%**

Jadi dapat dikatakan bahwa pembebanan gravitasi pada ETABS sudah **benar**.

4.4.6 Pembebanan Gempa Dinamis

Pembebanan gempa dengan mengacu pada SNI 1726:2012, yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa. Dalam permodelan di dalam ETABS permodelan gempa dinamis arah X dan arah Y ditambahkan factor eksentrisitas akibat bangunan tidak simetris sebesar 5%.

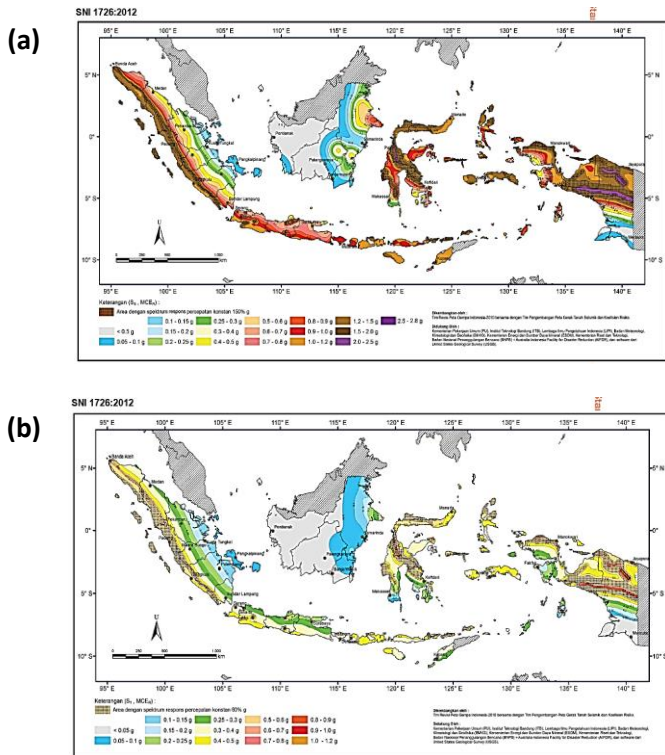
4.3.4.1 Faktor Keutamaan gempa

Faktor keutamaan gempa seperti yang telah di bahas ditentukan dari jenis pemanfaatan gedung sesuai dengan kategori resiko pada peraturan. Kategori resiko untuk gedung apartemen masuk dalam kategori resiko II dengan fator keutamaan gempa (*I*) **1,0**.

4.3.4.2 Kelas Situs

Kelas situs ditentukan berdasarkan data tanah yang didapat dari proses pengumpulan data. Pada proyek pembangunan gedung Apartemen Brooklyn Serpong didapatkan nilai *N* (tes *N_{spt}*) sampai kedalaman 20 meter lebih besar dari 15 dan lebih kecil dari 500 jadi dapat dikatakan tanah termasuk dalam kelas situs **SD**

Parameter Respon Spectral



Gambar 4. 3 Peta untuk menentukan (a) perioda pendek 0.2 detik (S_s) (b) perioda 1 detik (S_1)

S_s , Gempa Maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaikan (MCE_R). Parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 0,2 detik dalam g, (5% redaman kritis), Kelas situs SD. Dari gambar 5.2 a untuk daerah Serpong didapatkan nilai $S_s = 0.75$ g.

S_1 , Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaikan (MCE_R) parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 1 detik dalam g (5% redaman kritis), kelas situs SB. Dari gambar 5.2 b untuk wilayah Jakarta $S_1 = 0,32$ g.

4.3.4.3 Parameter Percepatan Spectral Desain

Parameter percepatan spektra disain untuk periode pendek 0,2 detik (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) adalah sebagai berikut

$$S_{MS} = F_a S_s = 1,208 \times 0,75 = 0,894$$

$$S_{M1} = F_v S_1 = 1,761 \times 0,32 = 0,563$$

sehingga

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,894 = 0,596$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,563 = 0,375$$

Untuk perioda pendek 0.2 detik (S_s) sebesar 0,75g dan parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda 1 detik (S_1) sebesar 0,32 g dengan kelas situs SD didapatkan daerah Serpong memiliki S_{DS} sebesar **0,596** dan S_{D1} sebesar **0,375**.

4.3.4.4 Kategori Desain Seismik

Seperti yang telah di bahas pada subab 2.3.6, kategori desain seismik dibagi berdasarkan tabel 2.6 dan tabel 2.7 untuk S_{DS} sebesar 0,596 dan S_{D1} sebesar 0,375 dan kategori resiko II kategori desain seismik tergolong kategori D. Untuk kategori D tipe struktur menggunakan Sistem Ganda yaitu Dinding Geser Beton Bertulang Khusus dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

4.3.4.5 Respon Spektrum Desain

Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \cdot \left(0,4 + 0,6 \cdot \frac{T}{T_0} \right)$$

Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spectrum respons percepatan desain

$$S_a = S_{DS}$$

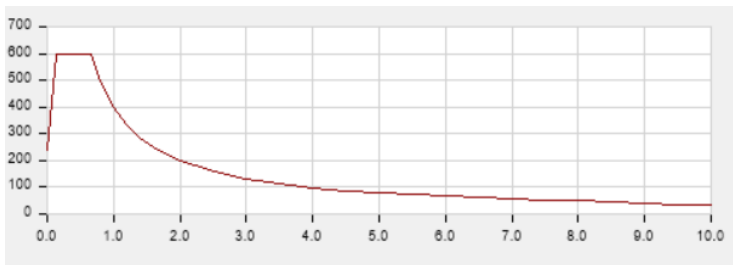
Untuk perioda lebih besar dari T_s , respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Dimana :

$$T_o = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,125 \text{ dt} ; T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,629 \text{ dt}$$

Sehingga didapatkan respon spektrum desain sebagai berikut :



Gambar 4. 4 Grafik Respon Spektrum Desain

4.4.7 Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental (T)

$$T = C_u \times T_a$$

Berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel 15, tipe struktur system rangka pemikul momen menggunakan nilai parameter periode pendekatan C_t adalah 0,466, nilai α digunakan 0,9 daan ketinggian gedung 60,5m.

$$T_a = C_t \times h_n^\alpha$$

$$T_a = 0,466 \times 104,3^{0,9}$$

$$T_a = 3,05 \text{ dt}$$

Dimana :

T_a = periode fundamental pendekatan

C_t = koefisien pendekatan

h_n = ketinggian struktur

Tabel 4. 3 Koefisien Batas Atas Perioda Gedung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Perhitungan waktu getar alami fundamental menggunakan rumusan berikut :

$$T = C_u \times T_a$$

$$T = 1,4 \times 3,5 \text{ dt}$$

$$T = 4,9 \text{ dt}$$

Perioda fundamental struktur, T, tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (C_u)

$$T < C_u \times T_a$$

Nilai T didapat dari permodelan ETABS yang telah diinput gaya gempa dinamik.

Periode fundamental struktur terbesar yang didapat dari analisis ETABS = 3,74 dt maka:

$$T_{a \text{ manual}} < T_{a \text{ ETABS}} < C_u \times T_a$$

$$3,05 \text{ dt} < 3,74 \text{ dt} < 4,9 \text{ dt} \dots \text{"OK"}$$

4.4.8 Kontrol Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 7.8.1.1.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_0}\right)} ; S_{DS} = 0,607 ; I_0 = 1 ; R = 7$$

$$C_s = \frac{0,607}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,0857$$

Nilai R yang dipakai yaitu R untuk sistem ganda dengan Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus dan Dinding Geser Beton Bertulang Khusus = 7. (SNI 1726:2012 Tabel 9)
Dan nilai C_s tidak lebih dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I_0}\right)}; S_{D1} = 0,396; I_0 = 1; R = 7; T = 3,75 \text{ dt}$$

$$C_s = \frac{0,396}{3,75 \cdot \left(\frac{7}{1}\right)} = 0,015$$

Dan nilai C_s tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e$$

$$C_s = 0,044 \times 0,596 \times 1$$

$$C_s = 0,0262$$

Maka nilai C_s diambil **0,0262**

Untuk perhitungan gempa faktor reduksi beban hidup untuk bangunan apartemen sebesar 0,3, sehingga didapatkan berat seismic efektif bangunan (W) sebagai berikut

Tabel 4. 4 Berat Efektif Struktur

Load Case/Combo	FZ
	kN
1D + 0,3L	240466.603

Gaya geser yang telah didapatkan dari perhitungan di atas akan didistribusikan secara vertikal ke masing-masing lantai sesuai dengan SNI 1726:2012.

$$C_s = 0,0262$$

$$W = 240466.603 \text{ KN}$$

$$V = C_s \times W$$

$$V = 0,0267 \times 240466.603 \text{ KN}$$

$$V = 6348 \text{ KN}$$

Jika kombinasi respons untuk geser dasar ragam (Vt) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $0,85V/V_t$ (SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4.1). Dari hasil analisa struktur menggunakan program bantu ETABS didapatkan gaya geser dasar ragam (Vt) sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Reaksi Beban Gempa Arah X dan Y

Load Case/Combo	FX	FY
	kN	kN
Ex Max	4854.7337	0,003
Ey Max	0,0037	4640.7134

$$V = 6305 \text{ KN}$$

$$V_{xt} = 4854.733 \text{ KN}$$

$$V_{yt} = 4640.713 \text{ KN}$$

Maka untuk arah x,

$$V_{xt} > 0,85V$$

$$4854.733 \text{ KN} > 0,85 \times 6348 \text{ KN}$$

$$4854.733 \text{ KN} > 5360,08 \text{ KN} \dots \textbf{"NOT OK"}$$

Maka untuk arah y,

$$V_{yt} > 0,85V$$

$$4640.713 \text{ KN} > 0,85 \times 6348 \text{ KN}$$

$$4640.713 \text{ KN} > 5360,08 \text{ KN} \dots \textbf{"NOT OK"}$$

Oleh karena itu, untuk memenuhi persyaratan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, maka gaya geser tingkat nominal akibat gempa rencana struktur gedung hasil analisis harus dikalikan dengan faktor skala $0,85V/V_t$

Arah x :

$$\frac{0,85 \cdot V}{V_{xt}} = \frac{5360,08}{4854.733} = 1,11$$

Arah y :

$$\frac{0,85 \cdot V}{V_{yt}} = \frac{5360,08}{4640,713} = 1,16$$

Setelah didapatkan faktor skala untuk masing-masing arah pembebanan, selanjutnya dilakukan analisa ulang struktur dengan mengalikan skala faktor yang diperoleh di atas pada *scale factor* untuk *Define Respons Spectra*. Kemudian dilakukan running ulang pada program analisis. Hasil dari running ulang tersebut adalah :

Tabel 4. 6 Reaksi Beban Gempa Arah X dan Y Setelah Di Berikan Faktor Skala

Load Case/Combo	FX	FY
	kN	kN
Ex Max	5375.3574	0,8404
Ey Max	0,8387	5367.3572

$$V = 6154,47 \text{ KN}$$

$$V_{xt} = 5375.3574 \text{ KN}$$

$$V_{yt} = 5367.3572 \text{ KN}$$

Maka untuk arah x,

$$V_{xt} > 0,85V$$

$$5375.3574 \text{ KN} > 0,85 \times 6154,47 \text{ KN}$$

$$5375.3574 \text{ KN} > 5360,08 \text{ KN} \dots \text{"OK"}$$

Maka untuk arah y,

$$V_{yt} > 0,85V$$

$$5367.3572 \text{ KN} > 0,85 \times 5360,08 \text{ KN}$$

$$5367.3572 \text{ KN} > 5360,08 \text{ kN} \dots \text{"OK"}$$

Ternyata hasil dari running ulang tersebut sudah memenuhi persyaratan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1. Selanjutnya geser dasar ragam hasil running ulang tersebut akan digunakan sebagai beban gempa desain.

4.4.9 Kontrol Dual System

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) harus memikul minimum 25% dari beban geser nominal total yang bekerja dalam arah kerja beban gempa tersebut. Berikut total reaksi perletakan SRPM dan shearwall

Tabel 4. 7 Reaksi Perletakan dan Persentase Gaya Geser yang

	total	sheerwall	presentase
gempa x	5779	4320.478	74.76169
gempa y	5389.172	3989.221	74.02289

Dipikul akibat Gempa Arah X dan Arah Y

Dari hasil perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa persentase total dari SRPM memiliki nilai lebih **besar** dari 25%, sehingga konfigurasi struktur gedung telah memenuhi syarat sebagai struktur dual system.

4.4.10 Kontrol Partisipasi Massa

Sesuai dengan SNI 1726:2012, Perhitungan respons dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total sekurang kurangnya adalah 90%.

Tabel 4. 8 Modal Partisipasi Massa

Case	Mod e	Period	Sum UX	Sum UY
		sec		
Modal	1	3.151	0.0139	0.0143
Modal	2	2.778	0.0141	0.6902
Modal	3	2.568	0.6111	0.6902
Modal	4	1.272	0.6135	0.6917
Modal	5	0.967	0.781	0.6917
Modal	6	0.916	0.7811	0.8239
Modal	7	0.698	0.7819	0.8244
Modal	8	0.492	0.7822	0.825
Modal	9	0.462	0.8027	0.8644
Modal	10	0.461	0.8395	0.8869
Modal	11	0.376	0.8395	0.8871
Modal	12	0.302	0.8396	0.8873
Modal	13	0.284	0.8404	0.9244
Modal	14	0.279	0.8853	0.9251
Modal	15	0.249	0.8853	0.9252
Modal	16	0.213	0.8854	0.9253
Modal	17	0.204	0.9185	0.9254
Modal	18	0.194	0.9187	0.9476
Modal	19	0.182	0.9187	0.9476
Modal	20	0.166	0.9308	0.9477

Dari tabel diatas didapatkan bahwa dalam penjumlahan respon ragam menghasilkan respon total telah mencapai 90% untuk arah X dan arah Y. maka ketentuan menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.1 terpenuhi.

4.4.11 Kontrol Drift

Kinerja batas layan struktur gedung sangat ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana. Dimaksudkan untuk menjaga kenyamanan penghuni, mencegah kerusakan non-struktur, membatasi peretakan beton yang berlebihan.

Nilai dari simpangan antar lantai ini dihitung dengan aplikasi program bantu struktur yang selanjutnya batasan simpangan dinyatakan dengan perumusan seperti berikut ini:

Untuk kontrol drift pada SNI 03-1726-2012, dirumuskan sebagai berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xE}}{I}$$

Dimana:

δ_x = defleksi pada lantai ke-x

C_d = faktor pembesaran defleksi (=5.5) (SNI tabel 9)

I = faktor keutamaan gedung (= 1)

Tabel 4. 9 Batas Simpangan Gedung

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025 h_{sx}$ ^c	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^a	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

Untuk sistem struktur rangka pemikul momen khusus (dual system) , drift dibatasi sebesar :

$$\begin{aligned} \Delta &= 0.020.h_{sx} \\ &= 0.020 \times 4000 = 80 \text{ mm (Lantai basement)} \\ \Delta &= 0.020.h_{sx} \\ &= 0.020 \times 3500 = 70 \text{ mm (Lantai 1 – 2)} \end{aligned}$$

Tabel 4. 10 Gempa Arah X

Lantai	SUMBU X						
	Tinggi Lantai	Δ Ijin	Δ ETABS		Δ Lantai	Pembesaran Δ	Ket
	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	
1	5.5	110	0.000185	0.185	0.000	0.000	OK
2	5.5	110	0.000367	0.367	0.182	1.001	OK
3	5.5	110	0.000471	0.471	0.104	0.572	OK
4	5.5	110	0.000539	0.539	0.068	0.374	OK
5	5.5	110	0.000606	0.606	0.067	0.369	OK
6	5.5	110	0.000636	0.636	0.030	0.165	OK
7	5.5	110	0.000649	0.649	0.013	0.071	OK
8	5.5	110	0.000639	0.639	-0.010	-0.055	OK
9	3.5	70	0.000664	0.664	0.025	0.138	OK
10	3.5	70	0.000739	0.739	0.075	0.413	OK
11	3.5	70	0.000778	0.778	0.039	0.215	OK
12	3.5	70	0.000811	0.811	0.033	0.182	OK
13	3.5	70	0.000839	0.839	0.028	0.154	OK
14	3.5	70	0.000861	0.861	0.022	0.121	OK
15	3.5	70	0.000919	0.919	0.058	0.319	OK
16	3.5	70	0.000939	0.939	0.020	0.110	OK
17	3.5	70	0.000951	0.951	0.012	0.066	OK
18	3.5	70	0.000957	0.957	0.006	0.033	OK
19	3.5	70	0.000957	0.957	0.000	0.000	OK
20	3.5	70	0.001007	1.007	0.050	0.275	OK
21	3.5	70	0.000999	0.990	-0.017	-0.094	OK
22	3.5	70	0.000956	0.956	-0.034	-0.187	OK
23	3.5	70	0.000912	0.912	-0.044	-0.242	OK
24	3.5	70	0.000863	0.863	-0.049	-0.270	OK
25	3.5	70	0.000846	0.846	-0.017	-0.094	OK
26	3.5	70	0.000707	0.707	-0.139	-0.765	OK

Tabel 4. 11 Gempa Arah Y

SUMBU Y							
Lantai	Tinggi Lantai	Δ Ijin	Δ ETABS		Δ Lantai	Pembesaran Δ	Ket
	(m)		(m)	(mm)		(mm)	
1	5.5	110	0.000114	0.114	0.000	0.000	OK
2	5.5	110	0.000206	0.206	0.092	0.506	OK
3	5.5	110	0.00024	0.240	0.034	0.187	OK
4	5.5	110	0.000255	0.255	0.015	0.082	OK
5	5.5	110	0.000279	0.279	0.024	0.132	OK
6	5.5	110	0.000284	0.284	0.005	0.028	OK
7	5.5	110	0.000286	0.286	0.002	0.011	OK
8	5.5	110	0.000276	0.276	-0.010	-0.055	OK
9	3.5	70	0.000269	0.269	-0.007	-0.039	OK
10	3.5	70	0.000303	0.303	0.034	0.187	OK
11	3.5	70	0.000309	0.309	0.006	0.033	OK
12	3.5	70	0.000314	0.314	0.005	0.028	OK
13	3.5	70	0.000317	0.317	0.003	0.017	OK
14	3.5	70	0.000317	0.317	0.000	0.000	OK
15	3.5	70	0.000342	0.342	0.025	0.138	OK
16	3.5	70	0.000337	0.337	-0.005	-0.028	OK
17	3.5	70	0.000335	0.335	-0.002	-0.011	OK
18	3.5	70	0.000333	0.333	-0.002	-0.011	OK
19	3.5	70	0.000332	0.332	-0.001	-0.006	OK
20	3.5	70	0.000372	0.372	0.040	0.220	OK
21	3.5	70	0.00037	0.370	-0.002	-0.011	OK
22	3.5	70	0.000369	0.369	-0.001	-0.005	OK
23	3.5	70	0.00037	0.370	0.001	0.005	OK
24	3.5	70	0.000364	0.364	-0.006	-0.033	OK
25	3.5	70	0.000396	0.396	0.032	0.176	OK
26	3.5	70	0.00034	0.340	-0.056	-0.308	OK

Simpangan yang terjadi didapat dari hasil program bantu ETABS. Berdasarkan persyaratan besarnya kinerja layan yang terjadi pada SNI 1726:2012 pasal 7.9.3, yaitu:

$$\Delta n = \frac{(\delta_2 - \delta_1)Cd}{I} < \Delta a$$

Sehingga berdasarkan simpangan yang terjadi searah sumbu X dan Sumbu Y memenuhi persyaratan

4.3 Perencanaan Struktur Sekunder

4.3.1 Struktur Pelat Pracetak

Struktur pelat pracetak direncanakan menggunakan Pelat Sambungan balok dengan pelat hanya menggunakan sistem grouting dan tulangan praktis. Peraturan yang digunakan untuk besar beban yang bekerja pada struktur pelat menggunakan SNI 2847:2013 dan PCI Handbook.

4.3.1.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang digunakan untuk perencanaan Half Slab menurut preliminary design :

- Tebal pelat = 14 cm
- Tebal pelat sebelum overtopin = 8 cm
- Mutu beton (f'_c) = 40 MPa
- Mutu baja (f_y) = 420 MPa
- Diameter tulangan rencana = 13 mm

Pembebanan Pelat Lantai

Pelat direncanakan menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL) berdasarkan PBI 1971 sesuai dengan fungsi bangunan Apartemen dan kombinasi pembebanan yang dipakai sesuai dengan peraturan SNI 1727:2013.

Beban Mati (DL) :

- Pelat	: 0,14 m x 2400 kg/m ³	= 336 kg/m ²
- Spesi 2cm	: 2 x 21 kg/m ²	= 21 kg/m ²
- Tegel	: 1 x 24 kg/m ²	= 24 kg/m ²
- Plafon		= 11 kg/m ²
- Penggantung		= 7 kg/m ²
- Ducting + plumbing		= 25 kg/m ²
- Sanitasi		= 20 kg/m ²
		DL = 464 kg/m²

Beban Hidup :

Beban hidup apartemen (SNI 1727:2013 Tabel 4-1)	LL = 196 kg/m²
Beban Pekerja :	= 100 kg/m ²

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} = 1,2 (464) + 1,6 (196) = \mathbf{870 \text{ kg/m}^2}$$

Penulangan Sebelum Overtopping :

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} = 1,2 (464) + 1,6 (100) = \mathbf{723 \text{ kg/m}^2}$$

4.3.1.3 Perhitungan Tulangan Pelat

Perhitungan untuk pelat. Berikut merupakan langkah – langkah serta beberapa contoh perhitungan yang digunakan dalam menentukan tulangan lentur pelat :

- Menentukan data perencanaan untuk penulangan pelat :

Dimensi pelat	: 2000 mm x 5500mm
Tebal pelat (sebelum overtopping)	: 80 mm
Tebal topping	: 50 mm
Tebal decking	: 20 mm
Diameter tulangan rencana	: 13 mm
Mutu tulangan baja (fy)	: 420 MPa
Mutu beton (f'c)	: 40 MPa

- Menentukan Jenis Pelat

Menentukan pelat termasuk pelat 1 arah atau 2 arah

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} (\beta \Rightarrow 2 \rightarrow \text{pelat 1 arah}, \beta < 2 \rightarrow \text{pelat 2 arah})$$

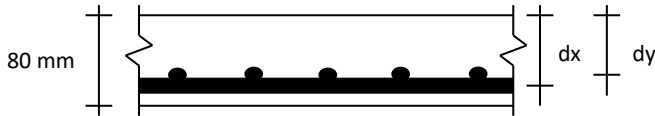
L_x dan L_y diambil dari perhitungan preliminary pelat:

$$L_x = 200 \text{ cm}$$

$$L_y = 550 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{550}{200} = 2,25 > 2 \rightarrow \text{pelat 1 arah}$$

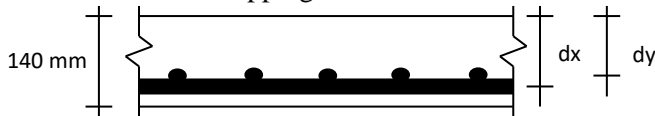
- Kondisi sebelum overtopping



$$dx = 80 - 20 - \frac{10}{2} = 55 \text{ mm}$$

$$dy = 80 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 45 \text{ mm}$$

- Kondisi sesudah overtopping



$$dx = 140 - 20 - \frac{10}{2} = 115 \text{ mm}$$

$$dy = 140 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 105 \text{ mm}$$

- Untuk mutu beton $f'_c = 40 \text{ MPa}$ berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut :

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} = 0,764 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,764$$

- Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} = 0,0018 (F_y = 420 \text{ Mpa}) \quad \text{SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1}$$

$$\rho_b = 0,85 \left(\frac{\beta_1 \times F_c}{F_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) = 0,0364$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0273$$

Penulangan pokok pelat pada tumpuan sama dengan pada lapangan, tetapi letak tulangan tariknya berbeda. Pada daerah tumpuan tulangan tarik berada di atas sedangkan pada daerah lapangan tulangan tariknya berada di bawah.

4.3.1.4 Penulangan Pelat Sesudah Overtopping

Dengan menggunakan koefisien momen PBI 1971 tabel 13.3.1 untuk momen-momen di dalam pelat yang terjepit penuh dengan $L_y/L_x = 2,25$ didapat persamaan momen sebagai berikut :

$$M = 0,001 \times qu \times Lx^2 \times X$$

$$Mulx (+) = X1 \rightarrow 42 \text{ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)}$$

$$Mulx (+) = 0.001 \times 870 \times 2^2 \times 42 = 146,16 \text{ kgm}$$

$$Muly (+) = X2 \rightarrow 8 \text{ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)}$$

$$Muly (+) = 0.001 \times 870 \times 2^2 \times 8 = 27,84 \text{ kgm}$$

$$Mutx (-) = X1 \rightarrow 83 \text{ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)}$$

$$Mutx (-) = 0.001 \times 870 \times 2^2 \times 83 = 288,84 \text{ kgm}$$

$$Muty (-) = X2 \rightarrow 57 \text{ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)}$$

$$Muty (-) = 0.001 \times 870 \times 2^2 \times 57 = 198,36 \text{ kgm}$$

⇒ **Perhitungan Tulangan Tumpuan dan Lapangan Arah X**

- Besaran momen yang digunakan:

$$Mulx (+) = Mutx (-) = 288,840 \text{ kgm} = 288840 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'c} = \frac{420}{0,85 \times 40} = 12,353$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times dx^2} = \frac{288840}{0,75 \times 1000 \times 115^2} = 0,29 \text{ N/mm}^2 \text{ Rasio tulangan :}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{12,353} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,353 \times 0,29}{420}} \right) = 0,0006$$

$$\rho_{perlu} < \rho_{min} , \text{ maka digunakan } \rho_{perlu} = 0,0018$$

- Perhitungan kebutuhan tulangan arah X:

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 115 = 207 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan per meter

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{207}{78,54} = 2,636 \approx 3$$

- Jarak tulangan

$$S_{max} = 450 \text{ mm (SNI 2847:2013, Pasal 14.3.5)}$$

$$S_{pakai} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ mm} > S_{max} \text{ "NOT OK"}$$

$$n = 4 \rightarrow S_{pakai} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ mm}$$

$$As_{pasang} = n \times As_{tulangan}$$

$$As_{pasang} = 4 \times 78,54 = 314,16 \text{ mm}^2 > As_{perlu} = 207 \text{ mm}^2$$

- Kontrol tarik tulangan (Design of Reinforce Concrete 9th edition, pasal 3.6)

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} = 530,9 \times \frac{420}{0,85 \times 40 \times 1000} = 6,558 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{6,558}{0,764} = 8,584 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{115-8,554}{8,554} \times 0,003 = 0,037 > 0,005$$

\therefore Faktor Reduksi $\phi = 0,85$ "OK"

- Kontrol retak (SNI 2847-2013 10.6.4)

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \times 420 = 280 \text{ MPa}$$

$$Cc = 20 - \frac{13}{2} = 13,5 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 Cc$$

$$S_{maks} = 380 \left(\frac{280}{280} \right) - 2,5 \times 20 = 330 \text{ mm}$$

$$\text{Atau } S_{maks} = \mathbf{315 \text{ mm}}$$

$$S_{min} = d_b = 10 \text{ mm atau } S_{min} = \mathbf{25 \text{ mm SNI 2847-2013 7.6.1}}$$

\therefore Digunakan tulangan lentur arah X = D10 – 250

\Rightarrow Perhitungan Penulangan Tumpuan dan Lapangan Arah Y

- Besaran momen yang digunakan:

$$\text{Mulx (+)} = \text{Mutx (-)} = 146,16 \text{ kgm} = 1461600 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{420}{0,85 \times 40} = 12,353$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d y^2} = \frac{1461600}{0,75 \times 1000 \times 105^2} = 0,205 \text{ N/mm}^2$$

- Rasio tulangan :

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{12,353} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,353 \times 0,205}{420}} \right) = 0,0004$$

$$\rho_{perlu} < \rho_{min} \text{ , maka digunakan } \rho_{min} = 0,0018$$

- Perhitungan kebutuhan tulangan arah X:

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 105 = 189 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan per meter

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{189}{78,54} = 2,4 \approx 3$$

- Jarak tulangan

$$S_{max} = 450 \text{ mm (SNI 2847:2013, Pasal 14.3.5)}$$

$$S_{pakai} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ mm} > S_{max} \text{ "NOT OK"}$$

$$n = 4 \rightarrow S_{pakai} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ mm}$$

$$As_{pasang} = n \times As_{tulangan}$$

$$As_{pasang} = 4 \times 78,54 = 314,16 \text{ mm}^2 > As_{perlu} = 189 \text{ mm}^2$$

- Kontrol tarik tulangan (Design of Reinforce Concrete 9th edition, pasal 3.6)

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} = 530,9 \times \frac{420}{0,85 \times 40 \times 1000} = 6,558 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{6,558}{0,764} = 8,584 \text{ mm}$$

$$et = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{115-8,554}{8,554} \times 0,003 = 0,032 > 0,005$$

∴ **Faktor Reduksi $\phi = 0,85$ "OK"**

- Kontrol retak (SNI 2847-2013 10.6.4)

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \times 420 = 280 \text{ MPa}$$

$$Cc = 20 - \frac{13}{2} = 13,5 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5Cc$$

$$S_{maks} = 380 \left(\frac{280}{280} \right) - 2,5 \times 20 = 330 \text{ mm}$$

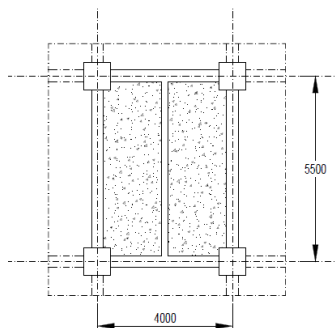
$$\text{Atau } S_{maks} = \mathbf{315 \text{ mm}}$$

$$S_{min} = d_b = 10 \text{ mm} \text{ atau } S_{min} = \mathbf{25 \text{ mm}} \text{ SNI 2847-2013 7.6.1}$$

∴ **Digunakan tulangan lentur arah Y = D10 – 250**

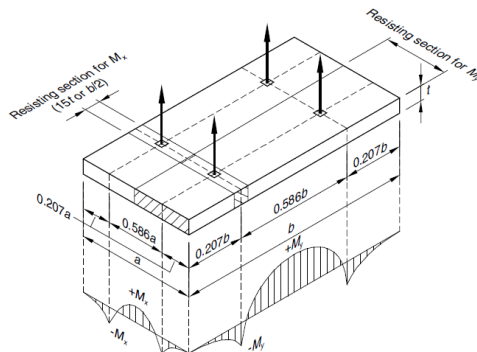
4.3.1.5 Penulangan Pelat Sebelum Overtopping

Sebelum overtopping, pelat pracetak mengalami 2 kondisi pembebanan, yaitu saat pengangkatan dan saat sudah terletak bebas diatas balok.



⇒ **Momen pelat yang terjadi saat pengangkatan**

Dalam pemasangan pelat pracetak, perlu diingat bahwa pelat akan mengalami pengangkatan elemen (erection). Besarnya momen dan pengaturan jarak tulangan angkat sesuai dengan buku "*Precast and Prestressed Concrete*" seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini dimana momen daerah tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu :



Gambar 4. 5 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)

$$M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b$$

(PCI Handbook.)

$$M_y = 0,0107 \times w \times a \times b^2$$

Pada segmen pelat : 550 × 200 cm

Sebelum over topping : 523 x 178 cm

Dengan $w = (0,08 \times 2400) = 192 \text{ kg/m}^2$

Maka :

$$M_x = 0,0107 \times 192 \times 1,78^2 \times 5,23 = 34,752 \text{ Kgm}$$

$$M_y = 0,0107 \times 192 \times 1,78 \times 5,23^2 = 72,407 \text{ Kgm}$$

⇒ **Momen pelat yang terjadi saat terletak diatas balok**

Dengan menggunakan koefisien momen PBI 1971 tabel 13.3.1 untuk momen-momen di dalam pelat yang terletak bebas didapat persamaan momen sebagai berikut :

$$M = 0,001 \times qu \times Lx^2 \times X$$

$$Mulx (+) = X1 \rightarrow 125 \text{ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)}$$

$$Mulx (+) = 0.001 \times 723 \times 1,78^2 \times 125 = 286,344 \text{ kgm}$$

$$Muly (+) = X2 \rightarrow 25 \text{ (PBI 1983, Tabel 13.3.1)}$$

$$Muly (+) = 0.001 \times 723 \times 1,78^2 \times 25 = 57,269 \text{ kgm}$$

Maka, Momen pelat yang paling kritis adalah:

$$Mx = 286,344 \text{ Kgm}$$

$$My = 57,269 \text{ Kgm}$$

⇒ **Perhitungan Tulangan Tumpuan dan Lapangan Arah X**

- Besaran momen yang digunakan:

$$Mulx (+) = Mutx (-) = 286,344 \text{ kgm} = 2863440 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'c} = \frac{420}{0,85 \times 40} = 12,35$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times dx^2} = \frac{2863440}{0,75 \times 1000 \times 53,5^2} = 1,33 \text{ N/mm}^2$$

- Rasio tulangan :

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{12,353} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,353 \times 1,33}{420}} \right) = 0,0032$$

$$\rho_{perlu} > \rho_{min} , \text{ maka digunakan } \rho_{perlu} = 0,0032$$

- Perhitungan kebutuhan tulangan arah X:

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,0032 \times 1000 \times 53,5 = 171,3 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan per meter

$$n = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{tulangan}}} = \frac{171,3}{78,54} = 2,18 \approx 3$$

- Jarak tulangan

$$S_{max} = 450 \text{ mm (SNI 2847:2013, Pasal 14.3.5)}$$

$$n = 3 \rightarrow S_{pakai} = \frac{1000}{3} = 333,33 \text{ mm (not ok)}$$

Menggunakan $n = 4$

$$A_{s_{pasang}} = n \times A_{s_{tulangan}}$$

$$A_{s_{pasang}} = 4 \times 78,54 = 314,16 \text{ mm}^2 > A_{s_{perlu}} = 171,3 \text{ mm}^2$$

- Kontrol tarik tulangan (Design of Reinforce Concrete 9th edition, pasal 3.6)

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} = 314,16 \times \frac{420}{0,85 \times 40 \times 1000} = 3,88 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{3,88}{0,85} = 4,565 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{53,5-4,565}{4,565} \times 0,003 = 0,0321 > 0,005$$

∴ **Faktor Reduksi $\phi = 0,85$ "OK"**

- Kontrol retak (SNI 2847-2013 10.6.4)

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \times 420 = 280 \text{ MPa}$$

$$C_c = 20 - \frac{10}{2} = 15 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 C_c$$

$$S_{maks} = 380 \left(\frac{280}{280} \right) - 2,5 \times 15 = 342,5 \text{ mm}$$

$$\text{Atau } S_{maks} = \mathbf{315 \text{ mm}}$$

$$S_{min} = d_b = 10 \text{ mm atau } S_{min} = \mathbf{25 \text{ mm SNI 2847-2013 7.6.1}}$$

∴ **Digunakan tulangan lentur arah X = D10 – 250**

⇒ **Perhitungan Penulangan Tumpuan dan Lapangan Arah Y**

- Besaran momen yang digunakan:

$$\text{Muly (+)} = \text{Muty (-)} = 72,407 \text{ kgm} = 724070 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{420}{0,85 \times 40} = 12,353$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d y^2} = \frac{724070}{0,75 \times 1000 \times 40,5^2} = 0,588 \text{ N/mm}^2$$

- Rasio tulangan :

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{12,353} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,353 \times 0,588}{420}} \right) = 0,0014$$

$$\rho_{perlu} < \rho_{min}, \text{ maka digunakan } \rho_{min} = 0,0018$$

- Perhitungan kebutuhan tulangan arah X:

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 40,5 = 72,9 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan per meter

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{72,9}{78,54} = 0,92 \approx 2$$

- Jarak tulangan

$$S_{max} = 450 \text{ mm (SNI 2847:2013, Pasal 14.3.5)}$$

$$n = 4 \rightarrow S_{pakai} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ mm}$$

$$As_{pasang} = n \times As_{tulangan}$$

$$As_{pasang} = 4 \times 78,54 = 314,16 \text{ mm}^2 > As_{perlu} = 72,9 \text{ mm}^2$$

- Kontrol tarik tulangan (Design of Reinforce Concrete 9th edition, pasal 3.6)

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} = 314,16 \times \frac{420}{0,85 \times 40 \times 1000} = 3,88 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{3,88}{0,85} = 4,565 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{50,5-4,565}{4,565} \times 0,003 = 0,0321 > 0,005$$

∴ Faktor Reduksi $\phi = 0,85$ "OK"

- Kontrol retak (SNI 2847-2013 10.6.4)

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \times 420 = 280 \text{ MPa}$$

$$Cc = 20 - \frac{10}{2} = 15 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5Cc$$

$$S_{maks} = 380 \left(\frac{280}{280} \right) - 2,5 \times 15 = 342,5 \text{ mm}$$

$$\text{Atau } S_{maks} = \mathbf{315 \text{ mm}}$$

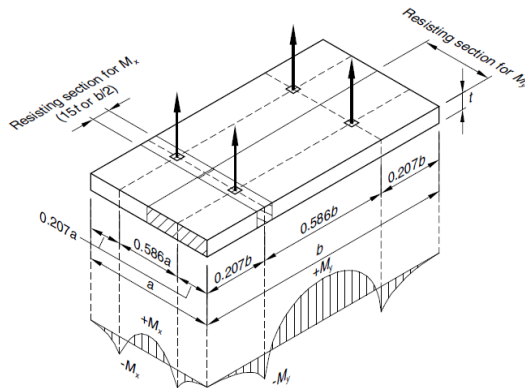
$$S_{min} = d_b = 10 \text{ mm atau } S_{min} = \mathbf{25 \text{ mm SNI 2847-2013 7.6.1}}$$

∴ Digunakan tulangan lentur arah X = D10 – 250

4.3.1.6 Pengangkatan Pelat

Titik Angkat Pelat Pracetak

Dalam pemasangan pelat pracetak, pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu direncanakan tulangan angkat untuk pelat. Contoh perhitungan akan diambil pelat tipe P 5 dengan dimensi 3,325 m x 7,5 m yang menggunakan empat titik pengangkatan.



Gambar 4. 6 Titik Angkat Pelat dan Momen yang Terjadi

(PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete, Fourth Edition, 1992)

Gaya akibat pengangkatan akan ditransformasikan kedua arah horizontal, yaitu arah i dan j. Tinggi pengangkatan dari muka pelat diambil 90 cm. Pada perhitungan beban ultimate ditambahkan koefisien kejut ($k = 1,2$) pada saat pengangkatan.

Perhitungan Tulangan Angkat Pelat

$$\begin{aligned}
 k &= 1,2 \text{ (koefisien kejut)} \\
 DL \text{ (beban mati)} &= 0,08 \times 1,78 \times 5,23 \times 2400 \\
 &= 1386,7 \text{ kg} \\
 LL \text{ (beban hidup)} &= 200 \text{ kg (asumsi 2 orang pekerja)} \\
 Qu \text{ (beban ultimate)} &= 1,2(1,2DL + 1,6LL) \\
 &= 1,2(1,2 \times 1386,7 + 1,6 \times 200) \\
 &= 2389,848 \text{ kg} \\
 Tu \text{ (beban tiap tulangan)} &= \frac{Qu}{4} = \frac{2389,848}{4} = 595,212 \text{ kg} \\
 \sigma_{\text{tarik ijin}} &= \frac{fy}{1,5} = \frac{420}{1,5} = 280 \text{ N/mm}^2 = 2800 \text{ kg/cm}^2 \\
 A_{\text{butuh}} &= \frac{Tu}{\sigma_{\text{tarik ijin}}} = \frac{595,212}{2800} = 0,212 \text{ cm}^2 \\
 &= 21,20 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan angkat D10 ($A=78,54 \text{ mm}^2$)

Kontrol Tulangan Angkat

$$\begin{aligned}
 f_{\text{pelat}} &< f_{\text{cr}} \\
 f_{\text{cr}} \text{ untuk beton 3 hari adalah} \\
 f_{\text{cr}} &= 0,7 \times \sqrt{f'c} = 0,7 \sqrt{18,4} = 3,002 \text{ MPa} \\
 y_c &= 0,5 \times 0,08 = 0,040 \text{ m} \\
 w &= (t_{\text{pelat}} \times 2400) + \frac{@\text{pekerja}}{A_{\text{pelat}}} \\
 &= (0,08 \times 2400) + \frac{200}{1,48 \times 4,88} \\
 &= 219.69 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan *PCI Design Handbook, Precast and Prestressed Concrete, 7th Edition*, momen maksimum diperhitungkan dengan rumus :

$$\begin{aligned} M_x &= 0,0107 \times w \times a^2 \times b \\ &= 0,0107 \times 219,69 \times 1,78^2 \times 5,23 = 38,952 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= 0,0107 \times w \times a \times b^2 \\ &= 0,0107 \times 219,69 \times 1,78 \times 5,23^2 = 114,45 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$T_u = 595,212 \text{ kg}$$

$$M = \frac{P \times y_c}{tg(45)} = \frac{595,212 \times 0,040}{tg(45)} = 23,80 \text{ kgm}$$

M_y ditahan oleh penampang selebar $a/2 = 1780/2 = 890 \text{ mm}$

$$Z = \frac{1}{6} \times 890 \times 90^2 = 1201500 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} M_{y_{\text{total}}} &= 114,45 + 23,80 = 138,25 \text{ kgm} \\ &= 1382500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$f_t = f_b = \frac{M_{\text{total}}}{Z} = \frac{1382500}{1201500} = 1,15 \text{ MPa} < f_r = 3,002 \text{ MPa}$$

M_x ditahan oleh penampang selebar $150t = 12000 \text{ mm}$ atau $b/2 = 5230/2 = 2615 \text{ mm}$

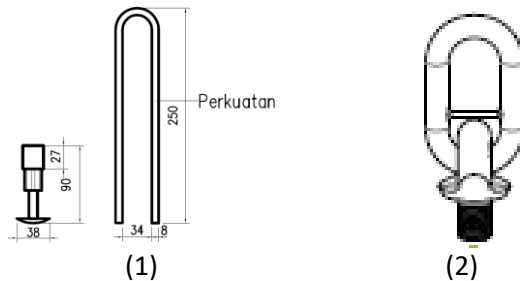
$$Z = \frac{1}{6} \times 2615 \times 80^2 = 2560000 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} M_{x_{\text{total}}} &= 25,126 + 23,80 = 48,926 \text{ kgm} \\ &= 489260 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

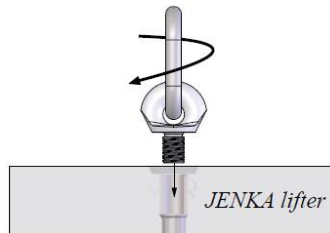
$$f_t = f_b = \frac{M_{\text{total}}}{Z} = \frac{489260}{2560000} = 0,2 \text{ MPa} < f_r = 3,002 \text{ MPa}$$

Pemilihan Profil Tulangan Angkat

Tulangan angkat yang digunakan adalah jenis *JENKA Lifting System* dari *Peikko Group*. Tipe yang digunakan adalah *JENKA BSA Short Insert* dengan kait *JL*. Di satu titik angkat profil ini dapat mengangkat beban sebesar 16 kN dengan sudut 0°-90°.



Gambar 4. 7 (1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL



Gambar 4. 8 **JENKA LIFTER**

4.3.2 Struktur Balok Anak Pracetak

Pada perencanaan balok anak, beban yang diterima oleh balok anak berupa beban persegi biasa. Itu dikarenakan pelat pracetak hanya menumpu dua titik tumpu, titik tumpu pertama ada dibalok induk serta titik tumpu yang kedua berada di balok anak.

4.3.2.1 Data Perencanaan Balok Anak Pracetak

Dalam perhitungan bab ini, akan dilakukan perhitungan sebelum komposit dan perhitungan sesudah komposit. Berdasarkan kondisi tersebut maka tersapat dua dimensi balok anak yaitu dimensi sebelum komposit dan dimensi sesudah komposit.

- Dimensi balok anak : 25×40 cm
- Mutu beton (f_c') : 40 MPa
- Mutu baja (f_y) : 420 MPa
- Tulangan lentur : D10
- Tulangan sengkang : $\emptyset 10$

4.3.2.2 Pembebanan Balok Anak Pracetak

Beban yang bekerja pada balok anak merupakan berat sendiri dari balok anak tersebut dan semua berat merata yang terjadi pada pelat termasuk berat sendiri pelat dan beban hidup merata yang berada diatas pelat. Distribusi beban pada balok pendukung sedemikian rupa sehingga dapat dianggap sebagai beban persegi pada lajur yang panjang.

4.3.2.3 Perhitungan Pembebanan Balok Anak

- **Kondisi Sebelum Komposit**

$$L_x = 178 \text{ mm} = 1,78 \text{ m}$$

$$L_y = 523 \text{ mm} = 5,23 \text{ m}$$

- **Beban Mati (Q_{DL})**

$$q_{\text{sendiri balok anak}} = 0,25 \times 0,26 \times 2400 = 156 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{sendiri pelat}} = 0,14 \times 2400 = 336 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{sebelum komposit}} &= 2 \times \left(\frac{1}{2} \times q \times L_x \right) \\ &= 2 \times \left(\frac{1}{2} \times 336 \times 1,78 \right) = 598,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \end{aligned}$$

Kombinasi Beban

$$\begin{aligned} Q_u \text{ sebelum komposit} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 \times 598,9 + 1,6 \times 0 = 718,68 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- **Kondisi Sesudah Komposit**

Kondisi sesudah komposit menggunakan output dari program bantu ETABS.

4.3.2.4 Perhitungan Momen dan Geser

Perhitungan momen dan gaya lintang sesuai dengan ikhtisar momen – momen dan gaya melintang dari SNI 2847:2013 pasal 8.3.3.

- **Kondisi Sebelum Komposit**

$$M_{\text{tumpuan}} = 0 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lapangan}} &= \left(\frac{1}{8} \times q \times L^2 \right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 718,68 \times 5,23^2 \right) = 2547,247 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \left(\frac{1}{2} \times q \times L \right) \\
 &= \frac{1}{2} \times q \times L = 1879,34 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- **Kondisi Sesudah Komposit**

$$\begin{aligned}
 M_{\text{tumpuan}} &= -8645,89 \text{ kgm} \\
 M_{\text{lapangan}} &= 2648,65 \text{ kgm} \\
 V &= 53,66 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

4.3.2.5 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Anak

⇒ Perhitungan Tulangan Lentur Sebelum Komposit

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi balok anak} &= 25/26 \\
 \text{Tebal selimut beton} &= 50 \text{ mm} \\
 \text{Diameter tulangan utama} &= 22 \text{ mm} \\
 \text{Diameter tulangan sengkang} &= 10 \text{ mm} \\
 \text{Mutu beton } (f'_c) &= 40 \text{ MPa} \\
 \text{Mutu baja } (f_y) &= 420 \text{ Mpa} \\
 d &= h - d' - \emptyset - \frac{1}{2} d_b \\
 d &= 260 - 50 - 10 - \frac{1}{2} (22) = 175 \text{ mm} \\
 \rho_{\min} &= 0,0018 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 7.12.2.1)} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{420}{0,85 \times 40} = 12,35
 \end{aligned}$$

- **Tulangan Tumpuan**

Digunakan $\rho_{\min} = 0,0018$, karena dianggap tidak terjadi momen pada tumpuan.

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0018 \times 250 \times 175 = 395,176 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\emptyset 16}} \\
 &= \frac{395,176}{201,06} = 2
 \end{aligned}$$

$$A_{s\text{pasang}} = \text{jumlah tulangan} \times A_{D22}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times 201,06 \text{ mm}^2 \\
 &= 402,12 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu ... OK}
 \end{aligned}$$

∴ **Maka digunakan tulangan lentur 2D16**

- **Tulangan Lapangan**

$$Mu_{\text{lapangan}} = 2547,247 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{2547,247 \times 10^4}{0,9 \times 250 \times 175^2} = 2,996 \frac{N}{mm}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{12,35} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,35 \times 2,996}{420}} \right) = 0,009976
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,009976 > \rho_{\text{min}} = 0,0018 \text{ dipakai } \rho_{\text{perlu}} \text{ sehingga}$$

didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,009976 \times 250 \times 175 = 648,501 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ } \phi 16}} \\
 &= \frac{648,501}{201,06} = 3,225 = 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D_{16}} \\
 &= 4 \times 201,06 \text{ mm}^2 \\
 &= 804,24 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu ... OK}
 \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{804,24}{250 \times 175} = 0,018 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times b \times f_c} = \frac{804,24 \times 420}{0,85 \times 250 \times 40} = 39,738 \text{ mm}$$

Kontrol tarik tulangan (Design of Reinforce Concrete 9th edition, pasal 3.6)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{39,738}{0,764} = 52,01 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{175-52,01}{52,01} \times 0,003 = 0,007 > 0,005$$

∴ **Faktor Reduksi $\phi = 0,9$ "OK"**

$$\begin{aligned} M_u &= \phi \times As \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 804,24 \times 420 \left(175 - \frac{39,738}{2} \right) = 47160245,96 \end{aligned}$$

Nmm

$M_u > M_{lapangan} \dots$ OK

∴ **Maka digunakan tulangan lentur 4D16**

⇒ **Perhitungan Tulangan Lentur Sesudah Komposit**

Dimensi balok anak = 25/40

Tebal selimut beton = 50 mm

Diameter tulangan utama = 16 mm

Diameter tulangan sengkang = 10 mm

Mutu beton (f'_c) = 40 MPa

Mutu baja (f_y) = 420 Mpa

$d = h - d' - \phi - \frac{1}{2} d_b$

$d = 400 - 50 - 10 - \frac{1}{2} (16) = 315 \text{ mm}$

$\rho_{min} = 0,0018$ (SNI 2847:2013, pasal

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{420}{0,85 \times 40} = 12,35$$

- **Tulangan Tumpuan**

$M_{tumpuan} = -8645,89 \text{ kgm}$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{8645,89 \times 10^4}{0,9 \times 250 \times 315^2} = 2,401 \frac{N}{mm}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{12,35} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,35 \times 2,401}{420}} \right) = 0,007889\end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,009976 > \rho_{\text{min}} = 0,0018$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned}A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,009976 \times 250 \times 315 = 788,957 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\frac{A_s \text{ } \emptyset 16}{788,957}} \\ &= \frac{788,957}{201,06} = 3,92 = 4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D_{16}} \\ &= 4 \times 201,06 \text{ mm}^2 \\ &= 804,24 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu ... OK}\end{aligned}$$

Kontrol kekuatan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{804,24}{250 \times 315} = 0,010 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_c} = \frac{804,24 \times 420}{0,85 \times 250 \times 40} = 39,738 \text{ mm}$$

Kontrol tarik tulangan (Design of Reinforce Concrete 9th edition, pasal 3.6)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{39,738}{0,764} = 52,01 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{315-52,01}{52,01} \times 0,003 = 0,015 > 0,005$$

∴ **Faktor Reduksi $\phi = 0,9$ "OK"**

$$\begin{aligned} Mu &= \phi \times A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 804,24 \times 420 \left(315 - \frac{52,01}{2} \right) = 87855266,07 \\ &\text{Nmm} \end{aligned}$$

$$Mu > M_{\text{lapangan}} = 86458900 \text{ Nmm} \dots \text{OK}$$

∴ **Maka digunakan tulangan lentur 4D16**

- **Tulangan Lapangan**

$$Mu_{\text{lapangan}} = 2648,65 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{2648,65 \times 10^4}{0,9 \times 250 \times 315^2} = 0,736 \frac{N}{mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{12,35} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,35 \times 0,736}{420}} \right) = 0,00233 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,00233 > \rho_{\text{min}} = 0,0018$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00233 \times 250 \times 315 = 233,279 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ } \phi 16}} \\ &= \frac{233,729}{201,06} = 1,16 = 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D16} \\
 &= 2 \times 201,06 \text{ mm}^2 \\
 &= 402,12 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan :

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s}{b \times d} = \frac{402,12}{250 \times 315} = 0,005 > \rho_{\text{perlu}} \\
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_c} = \frac{402,12 \times 420}{0,85 \times 250 \times 40} = 19,869 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{19,869}{0,764} = 26,007 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{315-26,007}{26,007} \times 0,003 = 0,033 > 0,005$$

\therefore Faktor Reduksi $\phi = 0,9$ "OK"

$$\begin{aligned}
 M_u &= \phi \times A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \times 760,265 \times 420 \left(315 - \frac{37,57}{2} \right) = 85126931,02 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= \phi \times A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \times 402,12 \times 420 \left(315 - \frac{19,869}{2} \right) = 46370370,89 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_u > M_{\text{lapangan}} = 26486500 \text{ Nmm} \dots$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D16

4.3.2.6 Perhitungan Tulangan Geser

\Rightarrow Perhitungan Tulangan Geser Sebelum Komposit

$$V_u = 1879,348 \text{ kg} = 18,79 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\
 &= \frac{1}{6} \times \sqrt{40} \times 250 \times 175 \\
 &= 46116,55 \text{ N} = 46,117 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,9 \times 46,117 \\
 &= 41,505 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \times 41,505 = 20,7524 \text{ N}$$

maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan diameter 10 mm.

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ min} &= \frac{V_u}{\phi} \\
 &= \frac{18,79}{0,9} \\
 &= 20,88 \text{ kn}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \times A_s \\
 A_s &= 78,53 \text{ mm}^2 \\
 A_v &= 2 \times 78,53 = 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana :

$$S_{\text{maks}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{v_s} = \frac{157,08 \times 420 \times 175}{20,88} = 552,93 \text{ mm}$$

Menurut SNI 2847:2013 syarat jarak maksimum antar sengkang tertutup tidak boleh lebih dari yang terkecil :

- $\frac{d}{4} = \frac{175}{4} = 43,75 \text{ mm}$
- $6 \times d_b = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
- 150 mm

Dari syarat diatas maka diambil jarak antar sengkang 40 mm

⇒ **Perhitungan Tulangan Geser Sesudah Komposit**

$$V_u = 5366,79 \text{ kg} = 53,67 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{40} \times 250 \times 315 \\ &= 83009,79 \text{ N} = 83,01 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,9 \times 83,01 \\ &= 74,71 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \times 74,71 = 37,35 \text{ N}$$

Karena $V_c > V_u > 0,5\phi V_c$ maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan diameter 10 mm

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= \frac{53,67}{0,9} \\ &= 59,631 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$A_v = 2 \times A_s$$

$$A_{sD10} = 78,53 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \times 78,53 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana :

$$S_{\text{maks}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,08 \times 420 \times 315}{59,631 \times 10^3} = 348,504 \text{ mm}$$

Menurut SNI 2847:2013 syarat jarak maksimum antar sengkang tertutup tidak boleh lebih dari yang terkecil :

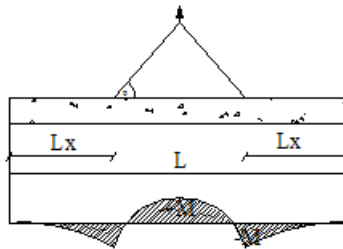
$$- \frac{d}{4} = \frac{315}{4} = 78,75 \text{ mm}$$

- $6 \times db = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
- 150 mm

Dari syarat diatas maka diambil jarak antar sengkang 75 mm .

4.3.2.7 Pengangkatan Balok Anak

Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



Gambar 4. 9 Momen Saat Pengangkatan Balok Anak

⇒ **Kondisi Pengangkatan Sebelum Komposit**

$$b = 25 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$L = 488 \text{ cm}$$

Dimana :

$$+ M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta} \right)$$

$$- M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left(1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)} \right)}$$

Perhitungan :

$$Y_t = Y_b = \frac{(40 - 14)}{2} = 13 \text{ cm}$$

$$I = \frac{1}{12} \times 25 \times 26^3 = 36616,67 \text{ cm}^4$$

$$Y_c = Y_t + 5 = 18 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 18}{500 \times \operatorname{tg} 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{13}{13} \left(1 + \frac{4 \times 18}{500 \times \operatorname{tg} 45} \right)} \right)} = 0,256$$

$$X \times L = 0,256 \times 488 = 124,928 \text{ cm} = 1,249$$

$$L - 2 \times (X \times L) = 4,88 - 2 \times 1,249 = 2,382 \text{ m}$$

➤ **Pembebanan**

Balok $(0,25 \times 0,26 \times 4,88 \times 2400) = 7,6 \text{ KN}$

$$\begin{aligned} T \sin \theta &= P = \frac{1,2 \times k \times W}{2} \\ &= \frac{1,2 \times 1,2 \times 7,6}{2} \\ &= 5,481 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$T = \frac{5,481}{\sin 45} = 7,75 \text{ KN}$$

➤ **Tulangan angkat balok anak**

$$P_u = 7,751 \text{ KN}$$

Menurut PBBI pasal 2.2.2. tegangan ijin tarik dasar baja bertulang mutu $f_y = 420 \text{ Mpa}$ adalah $f_y/1,5$

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 4200/1,5 = 2800 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{ijin}} \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{28,87 \times 10^2}{2800 \times \pi}}$$

$$\sqrt{\frac{7,751 \times 10^2}{2800 \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,3 \text{ cm}$$

Digunakan Tulangan $\phi 13 \text{ mm}$

➤ **Momen yang Terjadi**

Pembebanan pada balok

$$W = (0,25 \times 0,26 \times 2400) = 240 \text{ kg/m} = 2,4 \text{ KN/m}$$

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut :

Momen lapangan

$$+ M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta} \right)$$

$$+ M = \left(\frac{2,5 \times 4,88^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,256 + \frac{4 \times 0,18}{4,88 \times 0,18} \right) \right) \times 1,2$$

$$= 0,415 \text{ KNm}$$

Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{1,269}{\frac{1}{6} \times 0,25 \times 0,26^2}$$

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{0,415}{\frac{10}{6} \times 0,25 \times 0,26^2}$$

$$f = 147,657 \text{ KN/m}^2$$

$$f = 0,147 \text{ Mpa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 4,42 \text{ MPa} \dots \text{OK}$$

Momen tumpuan

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$-M = \left(\frac{2,4 \times 0,256^2 \times 4,88^2}{2} \right) \times 1,2 = 1,43 \text{ KNm}$$

Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{3,385}{\frac{1}{6} \times 0,25 \times 0,26^2}$$

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{1,43}{\frac{1}{6 \times 0,25 \times 0,26^2}}$$

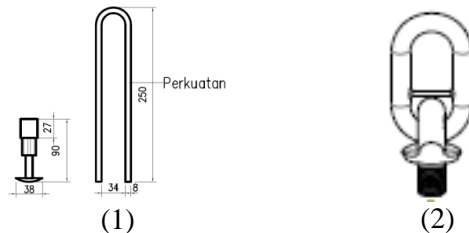
$$f = 510,089 \text{ KN/m}^2$$

$$f = 0,510 \text{ Mpa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 4,42 \text{ MPa} \dots \text{OK}$$

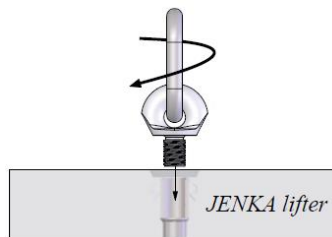
Dari perhitungan momen diatas, didapatkan nilai f' akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai $f'_{r_{ijin}}$ usia beton 3 hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

⇒ Pemilihan Profil Tulangan Angkat

Tulangan angkat yang digunakan adalah jenis *JENKA Lifting System* dari *Peikko Group*. Tipe yang digunakan adalah *JENKA BSA Short Insert* dengan kait *JL*. Di satu titik angkat profil ini dapat mengangkat beban sebesar 16 kN dengan sudut 0°-90°.



Gambar 4. 10 (1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL



Gambar 4. 11 *JENKA Lifter*

4.3.2.8 Kontrol Lendutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 2847:2013, syarat tebal minimum balok dengan dua tumpuan apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut :

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times lb$$

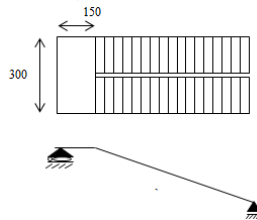
Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak preliminary design telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih besar dari persyaratan h_{\min} .

4.3.3 Perencanaan Tangga

Pada perencanaan ini, struktur tangga dimodelkan sebagai frame statis tertentu dengan kondisi ujung perletakan berupa sendi dan rol (rol diletakkan pada ujung bordes). Struktur tangga ke atas dan ke bawah tipikal.

4.3.4.1 Tangga Lantai

⇒ **Data Perencanaan Tangga**



Gambar Desain Tangga

- Tinggi Lantai : 550 cm
- Tinggi Tanjakan (t) : 15 cm
- Lebar Injakan (i) : 30 cm
- Lebar Tangga : 140 cm
- Tebal pelat tangga (tp) : 14 cm
- Tebal pelat bordes : 14 cm
- Jumlah injakan (n_T) : $\frac{275}{15} : 19$ buah
- Jumlah tanjakan (n_i) : $19-1= 18$ buah
- Jumlah tanjakan ke bordes : 18 buah
- Jumlah tanjakan bordes ke lantai 2 : 18 buah
- Elevasi bordes : 275 cm

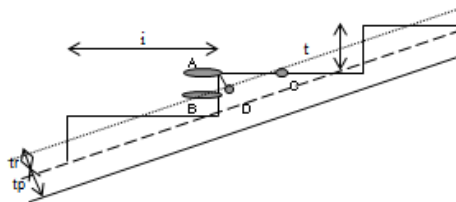
- Lebar bordes : 150 cm
- Panjang bordes : 400 cm
- Panjang horisontal plat tangga : $13 \times 30 = 390$ cm
- Kemiringan tangga (α) : $\text{arc tan } \alpha = \frac{275}{510} \rightarrow \alpha = 28,33^\circ$
- Tebal plat rata-rata : tebal plat tangga + tr

Cek syarat :

1. $60 \leq (2t+i) \leq 65$
 $2t + i = 2(15) + 30 = 60$ (OK)
2. $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$
 $\alpha = 27,51^\circ$ (OK)

$$\begin{aligned} \text{Tebal pelat anak tangga rata-rata} &= (i/2) \sin \alpha \\ &= (30/2) \sin 28,33^\circ \\ &= 6,807 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal pelat rata-rata (tr)} &= tp + tr_{\text{anak tangga}} \\ &= 14 + 6,807 \\ &= 20,80 = 21 \text{ cm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 12 Ketebalan Tangga

⇒ **Perhitungan Analisa Struktur**

- **Pelat Tangga**
- Beban Mati

$$\begin{array}{rclcl}
 \text{Pelat tangga} & = & \frac{0,21 \times 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 1\text{m}}{\cos 27,51^\circ} & = & 566,408 \quad \text{kg/m} \\
 \text{Tegel} & = & 24 & = & 24 \quad \text{kg/m} \\
 \text{Spesi} & = & 21 & = & 21 \quad \text{kg/m} \\
 \text{Sandaran} & = & 50 & = & 50 \quad \text{kg/m} +
 \end{array}$$

$$\mathbf{qd = 640,408 \quad kg/m}$$

$$- \text{Beban Hidup} \quad \mathbf{ql = 192 \quad kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{qu} &= 1,2 \text{ qd} + 1,6 \text{ ql} \\
 &= 1,2 \times 640,408 + 1,6 \times 192 = \mathbf{1075,69 \text{ kg/m}}
 \end{aligned}$$

• **Pelat Bordes**

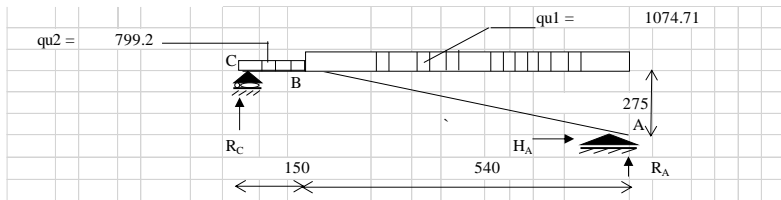
$$\begin{array}{rclcl}
 - \text{Beban Mati} & & & & \\
 \text{Pelat bordes} & = & 0,14 \times 2400 & = & 336 \quad \text{kg/m} \\
 \text{Tegel} & = & 24 & = & 24 \quad \text{kg/m} \\
 \text{Spesi} & = & 21 & = & 21 \quad \text{kg/m} \\
 \text{Sandaran} & = & 50 & = & 50 \quad \text{kg/m} +
 \end{array}$$

$$\mathbf{qd = 410 \quad kg/m}$$

$$- \text{Beban Hidup} \quad \mathbf{ql = 192 \quad kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{qu} &= 1,2 \text{ qd} + 1,6 \text{ ql} \\
 &= 1,2 \times 410 + 1,6 \times 192 = \mathbf{799,2 \text{ kg/m}}
 \end{aligned}$$

⇒ Perhitungan Gaya Datang



Gambar 4. 13 Beban Pada Tangga

Reaksi Perletakan

$$q_1 = 1074,71 \text{ kg/m}$$

$$q_2 = 799,2 \text{ kg/m}$$

$$\diamond \Sigma H = 0 \Rightarrow H_A = 0$$

$$\diamond \Sigma M_a = 0$$

$$R_c (6,9) - q_2 (1,5) (6,15) - q_1 (5,4) (2,7) = 0$$

$$R_c = \frac{799,2 \times 1,5 \times 6,15 + 1074,71 \times 5,4 \times 2,7}{6,9}$$

$$R_c = 3339,40 \text{ kg}$$

$$\diamond \Sigma V = 0$$

$$R_a (3,9) - q_1 (1,5) - R_c = 0$$

$$R_a = \frac{799,2 \times 1,5 - 3339,40}{3,9}$$

$$R_a = 3662,82 \text{ kg}$$

Gaya Dalam

$$\diamond \text{B - C}$$

$$\text{Bidang N} \rightarrow N_{bc} = 0$$

$$\text{Bidang D} \rightarrow D_c = R_c = 3339,40 \text{ kg}$$

$$\rightarrow D_{b_{kanan}} = R_c - q_2 (1,5) = 2140,60 \text{ kg}$$

$$\text{Bidang M} \rightarrow M_c = 0$$

$$M_{\max} \rightarrow D_{x_1} = 0$$

$$M_{\max} = M_{b_{\text{kanan}}} = R_c (1,5) - 0,5 q_2 (1,5)^2$$

$$M_{b_{\text{kanan}}} = 2921,75 \text{ kg}$$

❖ A – B

$$\begin{aligned} \text{Bidang N} \rightarrow N_a &= -R_a \sin \alpha + H_a \cos \alpha \\ &= -2846,76 \sin 27,51^\circ + 0 \\ &= -2568,1 \text{ kg} \\ &\rightarrow N_b = N_a + (q_{u1} \sin \alpha \cdot L_{ab}) \\ &= -2568,1 + (1075,69 \sin 27,51^\circ (3,9)) \\ &= 1216,44 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bidang D} \rightarrow D_a &= R_a \cos \alpha + H_a \sin \alpha \\ &= 2846,76 \cos 27,51^\circ - 0 \\ &= 1228,35 \text{ kg} \\ &\rightarrow D_{b_{\text{kiri}}} = D_a - (q_{u1} \cos \alpha \cdot L_{ab}) \\ &= 1228,35 - (1075,69 \cos 27,51^\circ (4,8)) \\ &= 581,83 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Bidang M} \rightarrow M_a = 0$$

$$M_{\max} \rightarrow D_x = 0$$

$$R_a - q \cdot X_1 = 0$$

$$X_1 = \frac{2846,76}{1075,69} = 2,646 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 2846,76 \times 2,646 - 0,5 \times 1075,69 \times 2,646^2 \\ &= 3766,91 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_{b_{\text{kiri}}} = 2921,75 \text{ kgm}$$

⇒ Perhitungan Tulangan Pelat Tangga dan Bordes

• Pelat Tangga

- $f_c = 40 \text{ Mpa}$
- $f_y = 420 \text{ Mpa}$
- $\beta_1 = 0,764$ (untuk $f_c = 40 \text{ Mpa}$)
- $\rho_{\min} = 0,0018$
- $\rho_{\max} = 0,025$
- $m = \frac{f_y}{0.85 f'_c} = \frac{420}{0.85 \times 40} = 12,35$
- Tebal pelat tangga = 140 mm
- Direncanakan tulangan = D 13 mm ($A_s = 132,7 \text{ mm}^2$)
- Tebal selimut beton (d') = 20 mm
- $d_x = 140 - 20 - (0,5 \times 13) = 113,5 \text{ mm}$
- $M_u = 6241,83 \text{ kg.m} = 624183,1 \text{ N.mm}$
- $V_u = 1027,55 \text{ kg}$
- $N_u = 3515,74 \text{ kg}$

Perhitungan Penulangan :

- **Penulangan Longitudinal** (SNI 2847:2013, Pasal 9.3.2.7)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{624183,1}{0,9 \times 100 \times 11,35^2} = 53,83 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{12,35} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,35 \times 53,83}{420}} \right) = 0.001403 < \rho_{\min}$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0.00815$$

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,00815 \times 1000 \times 113,5 = 924,52 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan :

$$(n) = \frac{924,52}{132,7} = 7 \approx 8$$

Jarak tulangan :

$$S = 1000/8 = 125 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

$$A_{\text{pakai}} = 1061,86 \text{ mm}^2$$

∴ **Digunakan tulangan lentur D13 – 100**

- **Penulangan Geser** (SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.2)
Komponen struktur dibebani tekan aksial.

$$V_c = 0,17x \left(1 + \frac{Nu}{Agx14} \right) x \sqrt{f_c} x b_w x d$$

$$V_c = 0,17x \left(1 + \frac{3515,419}{1400x210x14} \right) x \sqrt{40} x 1500 x 114$$

$$= 184611,97 \text{ N}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{10275,57}{0,9} = 1147,30 \text{ N}$$

$V_c > V_n \rightarrow$ tidak perlu tulangan geser

- **Penulangan Susut** (SNI 2847:2013, Pasal 7.12.2.1)

Tulangan susut menggunakan $\rho_{\min} = 0,0018$

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 113,5 = 204,3 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan :

$$(n) = \frac{204,3}{132,7} = 1,5 \approx 2$$

Jarak tulangan :

$$S = 1000/2 = 500 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 450 \text{ mm (digunakan } S_{\max})$$

$$A_{\text{pakai}} = 265,46 \text{ mm}^2$$

∴ **Digunakan tulangan lentur D13 – 400**

- **Bordes**

- $f_c = 40 \text{ Mpa}$
- $f_y = 420 \text{ Mpa}$
- $\beta_1 = 0,764$ (untuk $f_c = 40 \text{ Mpa}$)

- $\rho_{\min} = 0,0018$
- $\rho_{\max} = 0,025$
- $m = \frac{f_y}{0.85 f'c} = \frac{420}{0.85 \times 40} = 12,35$
- Tebal pelat tangga = 140 mm
- Panjang = 1400 mm
- Direncanakan tulangan = D 13 mm ($A_s = 132,7 \text{ mm}^2$)
- Tebal selimut beton (d') = 20 mm
- $dx = 140 - 20 - (0,5 \times 13) = 113,5 \text{ mm}$
- $M_u = 1598,4 \text{ kg.m}$
- $V_u = 1598,4 \text{ kg}$
- $N_u = 0 \text{ kg}$

Perhitungan Penulangan :

- **Penulangan Longitudinal** (SNI 2847:2013, Pasal 9.3.2.7)

$$Rn = \frac{Mn}{\phi b d^2} = \frac{1598840}{0,9 \times 100 \times 11,35^2} = 13,78 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{12,35} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,35 \times 13,78}{420}} \right) = 0,0034 > \rho_{\min}$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0034$$

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0034 \times 1000 \times 113,5 = 380,43 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan :

$$(n) = \frac{380,43}{232,7} \approx 2$$

Jarak tulangan :

$$S_{\max} = 450 \text{ mm (digunakan } S_{\max})$$

$$A_{S\text{pakai}} = 265,46 \text{ mm}^2$$

∴ Digunakan tulangan lentur D13 – 400

- **Penulangan Geser** (SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.2)

Komponen struktur dibebani lentur saja

$$V_c = 2 \times \sqrt{\frac{f'_c}{6}} \times b_w \times d$$

$$V_c = 2 \times \sqrt{\frac{40}{6}} \times 1000 \times 113,5 = 239279 \text{ N}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{15984}{0,9} = 17760 \text{ N}$$

$V_c > V_n \rightarrow$ tidak perlu tulangan geser

- **Penulangan Susut** (SNI 2847:2013, Pasal 7.12.2.1)

Tulangan susut menggunakan $\rho_{\min} = 0,0018$

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 113,5 = 204,3 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan :

$$(n) = \frac{204,3}{132,7} = 1,5 \approx 2$$

Jarak tulangan :

$$S = 1000/2 = 500 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 450 \text{ mm (digunakan } S_{\max})$$

$$A_{s\text{pakai}} = 265,46 \text{ mm}^2$$

\therefore Digunakan tulangan lentur D13 – 400

4.3 Perencanaan Struktur Primer

4.4.1 Perencanaan Balok Induk

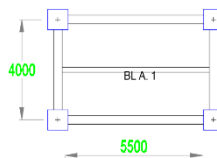
Data perencanaan yang diperlukan meliputi :

- Mutu beton (f'_c) = 40 MPa
- Mutu baja (f_y) = 420 MPa

- Dimensi balok = 30/46 cm
- Diameter tulangan longitudinal = 22 mm
- Diameter tulangan sengkang = 13 mm

4.4.1.1 Penulangan Lentur BL.1

• Penulangan Lentur Sebelum Komposit Beban Pada Balok Anak



Gambar 4. 14 Balok yan ditinjau

$$L_x = 4 \quad \text{m}$$

$$L_y = 5,5 - 0,8 = 4,7 \quad \text{m}$$

- Beban Mati

$$q_{\text{sendiri pelat}} = 0,14 \times 2400 = 336 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{sendiri balok anak}} = 0,4 \times 0,25 \times 2400 = 144 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{ek balok anak}} &= 2 \times \frac{1}{2} \times q_{\text{pelat}} \times l_x \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \frac{l_x}{2l_y} \right) \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 336 \times 4 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \frac{4,7}{2 \times 1,774} \right) \\ &= 738,94 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Beban mati balok anak} = 144 + 738,94 = 882,94 \text{ kg/m}$$

- Beban Hidup

$$\begin{aligned}
 q_{\text{ek pelat}} &= 2 \times \frac{1}{2} \times q \times l_x \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \frac{l_x}{2l_y} \right) \\
 &= 2 \times \frac{1}{2} \times 192 \times 4 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \frac{4}{2 \times 4,7} \right) \\
 &= 659,064 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Kombinasi Beban

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2 D + 1,6 L \\
 &= 1,2 \times 882,94 + 1,6 \times 659,064 = 2114,03 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Kemudian berat total dari balok anak ini dijadikan sebagai beban terpusat (P_D) pada saat pembebanan balok induk.
 $P_u = 2114,03 \text{ kg/m} \times 4,7 \text{ m} = 9935 \text{ kg}$

Beban Pada Balok Induk

Beban yang bekerja pada balok induk adalah berat sendiri balok induk dan beban ekuivalen pelat.

$$L_x = 2 \text{ m}$$

$$L_y = 4,7 \text{ m}$$

- Beban Mati

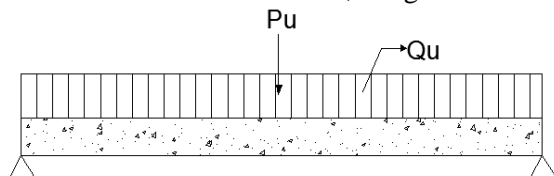
$$q_{\text{sendiri}} = 0,46 \times 0,30 \times 2400 = 331,2 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{ek pelat}} = 2 \times \frac{1}{4} \times q \times l_x$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times 2400 \times 2$$

$$= 240 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban mati balok induk} &= 1,2 D \\
 &= 1,2 \times (331,2 + 240) \\
 &= 685,44 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 15 Pembebanan BL.1 Sebelum Komposit

Maka momen yang terjadi sebelum komposit adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Mu &= \left(\frac{1}{8} \times Qu \times L^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times Pu \times L \right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 685,44 \times 4,7^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 9935 \times 4,7 \right) \\ &= 25239,921 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Jadi, momen (Mu) yang akan dipakai balok induk sebelum komposit adalah 25239,921

kgm.

Perhitungan Tulangan Lentur

- Data Perencanaan
 - Mutu beton (f_c') = 40 MPa
 - Mutu baja (f_y) = 420 MPa
 - Dimensi balok = 30/46 cm
 - Diameter tulangan utama = 19 mm
 - Diameter tulangan sengkang = 13 mm

$$d = h - d' - \emptyset - \frac{1}{2} d_b$$

$$d = 460 - 40 - 13 - \frac{1}{2} (19) = 386,5 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{0,5 \times \sqrt{40}}{420} = 0,00376$$

Digunakan ρ_{\min} terbesar antara 2 perhitungan ρ_{\min} di atas,

$$\rho_{\min} = 0,00376$$

$$\rho_{\max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1)}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{420}{0,85 \times 40} = 12,35$$

- **Tulangan Tumpuan**

Karena perletakan sebelum komposit dianggap sendi maka momennya adalah nol, namun tetap diberi penulangan tumpuan sebesar setengah dari penulangan lapangan.

Digunakan ρ_{\min} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00376 \times 300 \times 386,5 = 436,51 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\phi 19}} \\ &= \frac{436,51}{283,53} = 1,53 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D19} \\ &= 2 \times 283,53 \text{ mm}^2 \\ &= 567,05 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

∴ **Maka digunakan tulangan lentur 2D19**

- **Tulangan Lapangan**

$$M_{\text{lapangan}} = 2523992 \text{ Nmm} = 2,52 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{2,52 \times 10^6}{0,75 \times 470 \times 283,55^2} = 0,089 \frac{N}{mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{12,35} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,35 \times 0,08}{420}} \right) = 0,00112 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,00112 < \rho_{\min} = 0,00376$ dipakai ρ_{\min} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00376 \times 300 \times 386,5 = 436,5 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s\phi 29}} = \frac{436,5}{283,53} = 1,54 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D19} \\ &= 2 \times 283,53 \text{ mm}^2 \\ &= 567,05 \text{ mm}^2 > 436,5 \text{ (As perlu)} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{567,057}{300 \times 386,5} = 0,00489 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{567,057 \times 420}{0,85 \times 300 \times 40} = 23,34 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{23,34}{0,764} = 30,55 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{386,5-30,55}{30,55} \times 0,003 = 0,03 > 0,005$$

\therefore Faktor Reduksi $\phi = 0,9$ "OK"

$$\begin{aligned} M_u &= \phi \times A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 567,057 \times 420 \left(386,5 - \frac{23,34}{2} \right) = 80342947,67 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_u > M_{\text{lapangan}} = 2523992 \text{ Nmm} \dots \text{OK}$$

\therefore Maka digunakan tulangan lentur 2D19

\Rightarrow Penulangan Lentur Sesudah Komposit

- Data Perencanaan
 - Mutu beton (f_c') = 40 MPa
 - Mutu baja (f_y) = 420 MPa
 - Dimensi balok = 35/55 cm
 - Diameter tulangan utama = 22 mm

- Diameter tulangan sengkang = 10 mm

$$d = h - d' - \emptyset - \frac{1}{2} d_b$$

$$d = 550 - 40 - 13 - \frac{1}{2} (22) = 522 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 13 + (0,5 \times 22) = 64 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{40}}{420} = 0,00376$$

Digunakan ρ_{\min} terbesar antara 2 perhitungan ρ_{\min} di atas,

$$\rho_{\min} = 0,00376$$

$$\rho_{\max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1)}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{420}{0,85 \times 40} = 12,35$$

Momen yang terjadi sesudah komposit (ETABS)

Momen tumpuan

$$\text{atas} = 228 \text{ KNm}$$

$$\text{bawah} = 91,87 \text{ KNm}$$

Momen lapangan

$$\text{atas} = 66,3 \text{ KNm}$$

$$\text{bawah} = 20 \text{ KNm}$$

❖ Tulangan tumpuan atas :

$$M_{\text{tumpuan}} = 228 \text{ KNm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan D22

$$b = 350 \text{ mm}$$

$$dx = 472 \text{ mm}$$

$$Mu = 228 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{228 \times 10^6}{0,9 \times 350 \times 472^2} = 3,25 \frac{N}{mm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{12,35} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,35 \times 3,25}{420}} \right) = 0,00815$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,00815 > \rho_{\min} = 0,00376 \text{ dipakai } \rho_{\text{perlu}} \text{ sehingga}$$

didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00815 \times 350 \times 572 = 1345,61 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\phi 22}}$$

$$= \frac{1345,61}{380,13} = 3,54 \approx 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D22} \\ &= 4 \times 380,13 \text{ mm}^2 \\ &= 1520,53 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

∴ **Maka digunakan tulangan lentur 4D22**

❖ Perhitungan syarat tulangan tekan:

Persyaratan SNI 2847:2013 pasal 21.10 menyatakan bahwa jumlah tulangan serat bawah tidak boleh kurang dari 1/3 tulangan atas atau minimal dipasang 2 buah tulangan.

- $n_{\text{bawah}} \geq 1/3 n_{\text{atas}}$
- $n_{\text{bawah}} \geq 1/3 \times 5$
- $n_{\text{bawah}} \geq 2$

ambil jumlah tulangan bawah = 2 buah, syarat ≥ 2 buah. Maka untuk tulangan tekan (tulangan bawah) dipasang tulangan sejumlah **2D22 ($A_s' = 589,54 \text{ mm}^2$)**

Kontrol kekuatan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1520,53}{350 \times 472} = 0,0092 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{1520,53 \times 420}{0,85 \times 350 \times 40} = 53,66 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,66}{0,764} = 70,21 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{472-70,21}{70,21} \times 0,003 = 0,017 > 0,005$$

∴ **Faktor Reduksi $\phi = 0,9$ "OK"**

$$\begin{aligned} Mu &= \phi \times As \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 1520,53 \times 420 \left(472 - \frac{53,66}{2} \right) = 255864537,4 \text{ Nmm} = 255,86 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$Mu > M_{\text{lapangan}} = 255,86 > 228 \text{ KNm} \dots \text{OK}$$

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\rho = 0,007$$

$$\rho' = \frac{As}{b \times d} = \frac{760,265}{350 \times 472} = 0,0046 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,0036 \geq \frac{0,85 \times 40 \times 0,76 \times 62}{420 \times 472} \times \frac{600}{600 - 420}$$

$$0,0046 \leq 0,0273 \text{ (Tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times d'}{(\rho - \rho') \times f_y \times d} \right| \leq f_y \quad \text{Maka diambil } f'_s =$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,76 \times 40}{0,0046 \times 420} \times \frac{64}{472} \right| \leq 420$$

420 MPa (dalam kondisi tarik)

$$f'_s = |493,75| \geq 420 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tarik)}$$

$$a = \frac{As \times f_y - A'_s \times f'_s}{0,85 \times b \times f'_c} = \frac{1520,53 \times 420 - 760,264 \times 420}{0,85 \times 350 \times 40} = 26,83 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \times f'_s \times (d - d') \\
 &= (1520,53 \times 420 - 760,264 \times 420) \times \left(472 - \frac{26,83}{2} \right) + 760,264 \times 420 \times (472 - 40) \\
 &= 280994087 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_u = \phi M_n = 0,9 \times 280994087 = 252894678 \text{ Nmm} = 252,89 \text{ KNm}$$

KNm

$$M_u > M_{\text{lapangan}} = 228 \text{ KNm}$$

❖ Tulangan lentur lapangan :

Sebelum kita lakukan analisa desain perencanaan untuk tulangan lapangan perlu dilakukan cek apakah balok pada daerah lapangan tergolong balok T atau bukan dengan perumusan sebagai berikut :

Tulangan lapangan bawah

$$be_1 = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 550 = 137 \text{ cm}$$

$$be_2 = b_w + 16t = 35 + (16 \times 14) = 259 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} \times (L_b - b_w) = \frac{1}{2} \times (550 - 35) = 257 \text{ cm}$$

$$b = be_1 = 137 \text{ cm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan D22

$$b = 350 \text{ mm}$$

$$d_x = 472 \text{ mm}$$

$$M_u = 66,33 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{66,33 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 522^2} = 0,9 \frac{N}{mm^2}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{12,35} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,35 \times 0,9}{420}} \right) = 0,00218
 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,00218 > \rho_{\text{min}} = 0,00376$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00376 \times 300 \times 522 = 589,54 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\phi 22}}$$

$$= \frac{589,54}{380,13} = 1,55 \approx 2 \text{ buah}$$

$$A_{s\text{pasang}} = \text{jumlah tulangan} \times A_{D_{29}}$$

$$= 2 \times 660,52 \text{ mm}^2$$

$$= 1981,56 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} \dots \text{OK}$$

∴ **Maka digunakan tulangan lentur 2D22**

❖ Perhitungan syarat tulangan tekan:

Persyaratan SNI 2847:2013 pasal 21.10 menyatakan bahwa jumlah tulangan serat bawah tidak boleh kurang dari 1/3 tulangan atas atau minimal dipasang 2 buah tulangan.

$$- n_{\text{bawah}} \geq 1/3 n_{\text{atas}}$$

$$n_{\text{bawah}} \geq 1/3 \times 4$$

$$- n_{\text{bawah}} \geq 2$$

ambil jumlah tulangan bawah = 2 buah, syarat ≥ 2 buah. Maka untuk tulangan tekan (tulangan bawah) dipasang tulangan sejumlah **2D22**

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{760,265}{350 \times 472} = 0,0048 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$\rho' = \frac{A_{s_{\text{ada}}}}{b \times d_{\text{ada}}} = \frac{1140,389}{350 \times 472} = 0,0072 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0 \geq \frac{0,85 \times 40 \times 0,76 \times 64}{420 \times 522} \times \frac{600}{600 - 420}$$

$$0 \leq 0,029 \text{ (Tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,76 \times 40}{0,005 \times 420} \times \frac{64}{522} \right| \leq 420$$

$$f'_s = 1275 \geq 420 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tarik)}$$

Maka diambil $f'_s = 420 \text{ MPa}$ (dalam kondisi tarik)

$$a = \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f'_s}{0,85 \times b \times f'_c} = \frac{380,132 \times 420}{0,85 \times 300 \times 40} = 15,65 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \times f'_s \times (d - d') \\ &= (760,265 \times 420) \times \left(472 - \frac{15,65}{2} \right) + 760,265 \times 420 \times (472 - 64) \\ &= 160,433 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$M_u = \phi M_n = 0,9 \times 160,433 = 144,389 \text{ KNm}$$

$$M_u > M_{\text{tumpuan}} = 66,33 \text{ KNm} \dots \text{OK}$$

Cek Balok T Palsu

$$\begin{aligned} T &= A_s \times f_y \\ &= 850,420 > 420 \\ &= 357176,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= 0,85 \times f'_c \times b_e \times h_f \\ &= 0,85 \times 40 \times 137 \times 140 = 652120 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena $C > T$, maka balok dianggap sebagai balok T palsu, berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar b_e .

$$a = 35,02 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{aktual}} = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{760,265}{300 \times 532,5} = 0,0054 > \rho_{\text{min}}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{35,02}{0,764} = 45,837 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{523,5 - 45,837}{45,857} \times 0,003 = 0,0313 > 0,005$$

∴ **Faktor Reduksi $\phi = 0,9$ "OK"**

$$\begin{aligned} M_u &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 760 \times 420 \times \left(472 - \frac{35,02}{2} \right) \\ &= 162686042,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_u > M_{\text{tumpuan}} = 12000000 \text{ Nmm} \dots \text{OK}$$

Hasil dari penulangan setelah komposit adalah sebagai berikut,

- Akibat momen tumpuan
 - Tulangan atas = 4D22
 - Tulangan bawah = 2D22
- Akibat momen lapangan
 - Tulangan atas = 2D22
 - Tulangan bawah = 2D22

4.4.1.2 Penulangan Geser dan Torsi BL.1

Sesuai peraturan SNI 2847:2013 bab 11 mengenai geser dan torsi, perencanaan tulangan geser dan torsi mengikuti kaidah berikut ini :

Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan :

$$\Phi V_n = V_u \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.1})$$

Dengan V_u merupakan gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n merupakan kuat geser nominal yang ditinjau dari :

$$V_n = V_c + V_s$$

Dimana :

V_u = Geser pada terfaktor penampang yang ditinjau

Φ = Faktor reduksi geser (0,9)

V_n = Kuat Geser nominal

V_c = Kuat geser beton

V_s = Kuat Geser nominal tulangan geser

Sedangkan untuk perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi harus didasarkan pada perumusan sebagai berikut

$$\Phi T_n = T_u \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.5.3.5})$$

Tulangan sengkang untuk torsi harus direncanakan berdasarkan (SNI 2847:2013 Pasal 11.5.3.6) sesuai persamaan berikut :

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Dimana :

T_n = Kuat momen torsi ($T_c + T_s > T_{u_{\min}}$)

T_s = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

T_c = Kuat torsi nominal yang disumbngkan oleh beton

A_o = Luas bruto yang ditasi oleh lintasan aliran geser, mm

A_t = Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak s , mm²

F_{yv} = kuat leleh tulangan sengkang torsi, Mpa

s = Spasi tulangan geser atau puntir dalam arah parallel dengan tulangan longitudinal

Sesuai peraturan (SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1) pengaruh torsi balok diabaikan bila momen torsi terfaktor T_u kurang dari :

$$\phi 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Dimana :

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

F_c' = Kuat tekan beton, Mpa

A_{cp} = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm^2

P_{cp} = Keliling luar penampang beton, mm^2

❖ Penulangan Geser

Nilai momen nominal maksimum dari cek momen tulangan nominal terpasang dengan asumsi tumpuan kiri dan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.1 persamaan yang digunakan dalam menghitung tulangan geser adalah sebagai berikut :

$$M_{pr} = A_s \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{A_s \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

Jika balok tertekan maka menggunakan b_e :

$$b_{e1} = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 550 = 137 \text{ cm}$$

$$b_{e2} = b_w + 16t = 35 + (16 \times 14) = 259 \text{ cm}$$

$$b_{e3} = \frac{1}{2} \times (L_b - b_w) = \frac{1}{2} \times (550 - 35) = 257 \text{ cm}$$

$$b = b_{e1} = 137 \text{ cm}$$

Tabel 4. 12 Perhitungan M_{pr} BI

LOKASI		n	As Perlu (mm^2)	a (mm)	Mpr (kNm)
Tumpuan	Kiri	Atas	4	1520,53	17,075
		Bawah	2	760,265	33,54
	Kanan	Atas	4	1520,53	17,075
		Bawah	2	760,265	33,54

$$M_{pr1} = 369,97 \text{ kNm}$$

$$M_{pr2} = 181,70 \text{ kNm}$$

$$l_n = 5,1 \text{ m}$$

$$W_u = 31,28 \text{ KN/m}$$

- Analisa terhadap gempa kiri = gempa kanan

$$V_u = \frac{369,97 + 181,70}{5,1} - \frac{31,28 \times 5,1}{2}$$

$$V_u = 27,47 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{369,97 + 181,70}{5,1} + \frac{31,28 \times 5,1}{2}$$

$$V_u = 188,86 \text{ kN}$$

- Pemasangan Senggang Daerah Sendi Plastis

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 bahwa tulangan transversal untuk memikul geser dengan mengangap $V_c = 0$, apabila:

- $M_{pr} > 0,5 \times \text{Total geser kombinasi gempa dan gravitasi}$

$$\frac{369,97 + 181,70}{5,1} > 0,5 \times 181,70$$

$$108,17 \text{ kN} > 94,43 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

- Gaya Aksial Tekan $< 0,2 \times A_g \times f_c'$

$$185 < 1540 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

Karena Gaya aksial terlalu kecil maka memenuhi :

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \times b_w \times d$$

$$= 0,9 \times \frac{\sqrt{40}}{6} \times 350 \times 472$$

$$= 156,72 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{181,70}{0,9} - 148,56 = 59,028 \text{ kN}$$

Rencanakan tulangan geser $2\phi 13 \text{ mm}$ ($A_v = 132,73 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{132,73 \times 420 \times 472}{55,06} = 891,53 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.2 bahwa syarat jarak antar sengkang untuk sendi plastis tidak boleh melebihi :

- $d/4 = 522/4 = 131 \text{ mm}$
- $6 D_b = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
- 150 mm

Dari Syarat diatas maka diambil jarak antar sengkang = 100 mm.

Sehingga nilai kuat geser diperoleh sebagai berikut :

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{265,64 \times 420 \times 472}{100 \times 1000} = 526,26 \text{ N kN}$$

$$\phi V_s = 0,9 \times 526,26 = 473,63 \text{ kN}$$

$$\phi(V_c + V_s) = 0,9 \times (156,72 + 473,63) = 614,68 \text{ kN} > 473,63 \text{ kN}$$

Sengkang yang dipasang 2D13 mm sejarak 100 mm dengan ketentuan dan syarat sebagai berikut mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.2 sebagai berikut :

- S_{\max} sepanjang sendi plastis di ujung balok
 $2h = 2 \times 550 = 1100 \text{ mm}$
- Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan

Kontrol kuat geser balok induk interior tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 2847:2013 pasal 11.4.7.9

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'c} = \frac{2}{3} \times 350 \times 472 \times \sqrt{40}$$

$$= 662180 \text{ N} = 662,180 \text{ kN}$$

$$662,180 \text{ kN} > 526,26 \text{ kN}$$

Sehingga sengkang 2D10 – 100 dapat digunakan

➤ Pemasangan Sengkang di Luar Daerah Sendi Plastis

Pemasangan tulangan sengkang di luar daerah sendi plastis dimulai dari 1100 mm dari ujung balok dimana gaya

geser yang digunakan merupakan gaya geser dari hasil analisa struktur dengan besar beban gempa dan memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton.

$$V_u = 126 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi}$$

$$V_s = \frac{126}{0,9}$$

$$V_s = 140 \text{ kN}$$

Jika dipakai begel 2 kaki dengan ϕ 10 ($A_v = 157,08 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \times f_y \times b}{V_s} = \frac{157,08 \times 420 \times 413,5}{140000} = 341,33 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan begel di luar sendi plastis berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.4 :

$$\frac{1}{2} \times d = \frac{1}{2} \times 413,5 = 206,75 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

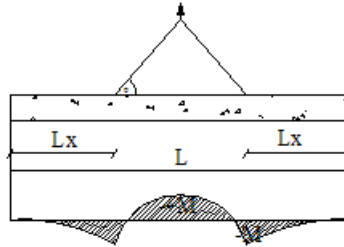
Jadi dipasang begel 2 ϕ 10 – 200 mm sebanyak :

$$L_n = 5100 \text{ mm}$$

$$\frac{L - 4 \times h}{s} + 1 = \frac{5100 - 4 \times 550}{200} + 1 = 17,5 \approx 18 \text{ buah}$$

4.4.1.3 Pengangkatan BI.1

Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



Gambar 4. 16 Momen saat pengangkatan BI.1

⇒ **Kondisi Pengangkatan Sebelum Komposit**

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$h = 46 \text{ cm}$$

$$L = 550 - (80) = 470 \text{ cm}$$

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{Lx \tan \theta} \right)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{Lx \tan \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Yb} \left(1 + \frac{4Y_c}{Lx \tan \theta} \right)} \right)}$$

Perhitungan :

$$Y_t = Y_b = \frac{(46 - 14)}{2} = 16 \text{ cm}$$

$$I = \frac{1}{12} \times 30 \times 46^3 = 81920 \text{ cm}^4$$

$$Y_c = Y_t + 4 = 20 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 20}{470 \times \tan 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{16}{16} \left(1 + \frac{4 \times 20}{550 \times \tan 45^\circ} \right)} \right)} = 0.236$$

$$X \times L = 0.236 \times 470 = 110,92 \text{ cm} = 1,110 \text{ m}$$

$$L - 2 \times (x \times L) = 4,7 - 2 \times (4,7 \times 0,257) = 2,28 \text{ m}$$

➤ **Pembebanan**

$$\text{Balok } (0,46 \times 0,30 \times 4,7 \times 2400) = 15,25 \text{ KN}$$

$$T \sin \phi = P = \frac{1,2 \times k \times W}{2}$$

$$= \frac{1,2 \times 1,2 \times 18,216}{2}$$

$$= 10,98 \text{ KN}$$

$$T = \frac{10,98}{\sin 45^\circ} = 15,52$$

➤ **Tulangan Angkat Balok Induk**

$$P_u = 15,52 \text{ KN}$$

Menurut PBBI pasal 2.2.2. tegangan ijin tarik dasar baja bertulang mutu $f_y = 420 \text{ Mpa}$ adalah $f_y/1,5$

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 4200/1,5 = 2800 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{ijin}} \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{30,074 \times 10^2}{2800 \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq 1,836 \text{ cm}$$

Digunakan Tulangan Ø 22 mm

➤ **Momen yang Terjadi**

• **Pembebanan**

$$\text{Balok } (0,46 \times 0,30 \times 2400) = 331,2 \text{ kg/m} = 3,312 \text{ KN/m}$$

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut :

- Momen lapangan

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta} \right)$$

$$+M = \left(\frac{3,312 \times 4,7^2}{8} (1 - 4 \times 0,257 + \frac{4 \times 0,2}{4,7 \times \tan 45}) \right) \times 1,2$$

$$= 1,560 \text{ KNm}$$

➤ **Tegangan yang terjadi**

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{1,764}{\frac{1}{6} \times 0,46 \times 0,30^2}$$

$$f = 166,797 \text{ KN/m}^2$$

$$f = 0,166 \text{ Mpa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 4,42 \text{ MPa} \dots \text{OK}$$

- Momen tumpuan

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$-M = \left(\frac{3,312 \times 0,236^2 \times 4,7^2}{2} \right) \times 1,2 = 2,444 \text{ KNm}$$

Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{3,970}{\frac{1}{6} \times 0,46 \times 0,30^2}$$

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{2,444}{\frac{1}{6} \times 0,46 \times 0,30^2}$$

$$f = 354,2 \text{ KN/m}^2$$

$$f = 0,354 \text{ Mpa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 4,42 \text{ MPa} \dots \text{OK}$$

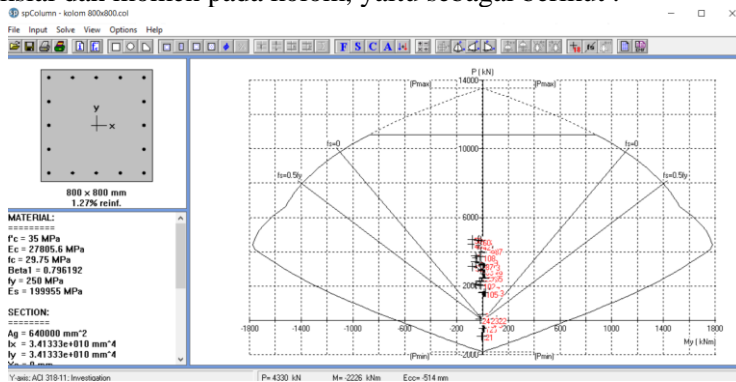
4.4.2 Perencanaan Kolom

Perhitungan ETABS yang terjadi pada kolom :

$$\begin{aligned} P_{u_{\max}} &: 3894 \text{ KN} \\ M_u &: 275 \text{ KNm} \\ V_{u_{\max}} &: 100,6 \text{ KN} \\ T_{u_{\max}} &: 3,3 \text{ KNm} \end{aligned}$$

4.4.2.1 Penulangan Longitudinal Kolom

Perhitungan penulangan kolom menggunakan program bantu PCACOL sesuai dengan gaya yang terjadi pada kolom pada hasil analisis dari ETABS, didapatkan diagram interaksi antara aksial dan momen pada kolom, yaitu sebagai berikut :



Gambar 4. 17 Output spColumn

Grafik Interaksi Aksial dan Momen Pada Kolom

$$\phi M_n = 1765 \text{ KNm} > M_u = 275 \text{ KNm} \dots \text{OK}$$

4.4.2.2 Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal Pada Kolom

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6, Luas tulangan memanjang, A_{st} , tidak boleh kurang dari 0.01 A_g atau lebih dari 0.06 A_g .

$$\begin{aligned} A_s &= 7853,98 \text{ mm}^2 \\ A_g &= 640000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dari diagram interaksi yang dibuat oleh program PCA COL diperoleh Tulangan longitudinal : 16D25, dengan rasio tulangan = 1,27 % (OK)

4.4.2.3 Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom Terhadap Beban Aksial Terfaktor

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 10.3.6.2 : kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$\phi P_n = 0.8 \phi (0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y (A_{st}))$$

Dimana:

$$P_u = 3894 \text{ kN}$$

$$\phi = 0.65$$

$$A_g = 800 \times 800 = 640000 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 8 \frac{1}{4} \pi 25^2 = 7853,98 \text{ mm}^2$$

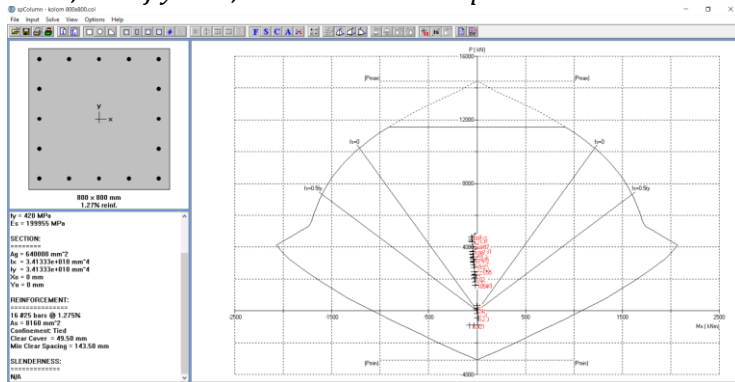
Sehingga:

$$\phi P_n = 11494,608 \text{ KN} > P_u = 3894,02 \text{ KN} \quad (\text{OK})$$

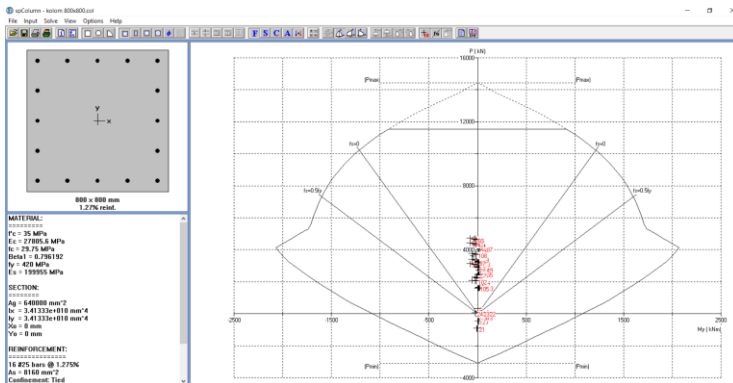
4.4.2.4 Kontrol Gaya Tekan Terhadap Gaya Geser Rencana

Gaya geser rencana, V_e , untuk menentukan kebutuhan tulangan geser kolom menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.1.

$$f_s = 1,25 \times f_y = 1,25 \times 420 = 525 \text{ Mpa}$$



Gambar 4. 18 Output spColumn (setelah Mpr) K1 Arah X



Gambar 4. 19 Output spColumn (setelah Mpr) K1 Arah y

$$L_n = 4900 \text{ mm}$$

$$M_{prx} = 2184 \text{ kNm}$$

$$V_{ex} = \frac{2 \times M_{pr}}{L_n} = \frac{2 \times 3800}{49.5}$$

$$V_{ex} = 891.42 \text{ kN} > V_u = 100.64 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

4.4.2.5 Persyaratan “Strong Column Weak Beam”

SNI 2847:2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa.

$$\sum M_{nc} \geq 1.2 \times \sum M_{nb}$$

Di mana $\sum M_{nc}$ adalah momen kapasitas kolom dan $\sum M_{nb}$ merupakan momen kapasitas balok. $\phi M_{nc} = 2184 \text{ kNm}$

$$M_{nc} = \frac{2184}{\phi} = \frac{1393}{0.65} = 3360 \text{ kNm}$$

$$M_{nb}(+) = 294.954 \text{ kNm}$$

$$M_{nb}(-) = 200.541 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{nc} \geq 1.2 \times \sum M_{nb}$$

$$2 \times M_{nc} \geq 1.2 \times (M_{nb}(+) + M_{nb}(-))$$

$$2 \times 3360 \geq 1.2 \times (200.541 + 294.954)$$

$$6720 \geq 594.594 \text{ kNm (OK)}$$

4.4.2.6 Perhitungan Tulangan Geser

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.6, ujung-ujung kolom sepanjang l_o harus dikekang oleh tulangan trasversal (A_{sh}) dengan spasi sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.6

⇒ Pemasangan Tulangan di Daerah Sendi Plastis

Jarak Tulangan Maksimum :

- $\frac{1}{4} b_{\text{kolom}} = \frac{1}{4} \times 800 = 200 \text{ mm}$
- $6 d_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$
- $100 \text{ mm} \leq S \leq 150 \text{ mm}$
- $S_o = 100 + \left(\frac{350 - (0.5x(800 - 2x(40 + 13/2)))}{3} \right) = 118,83 \text{ mm}$

Digunakan jarak tulangan di daerah sendi plastis 100 mm.

$A_{sh\min}$ sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

$$b_{cx} = 800 - 40 - 2 \times 13 = 734 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = (800 - 40 \times 2) \times (800 - 40 \times 2) = 518400 \text{ mm}^2$$

$$A_{shx} = 0.3 \frac{s b_c f' c}{f_{yt}} \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right]$$

$$A_{shx} = 0.3 \frac{100 \times 734 \times 35}{420} \left[\frac{640000}{518400} - 1 \right]$$

$$A_{shx} = 430,432 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh1} = 0.09 \frac{s b_c f' c}{f_{yt}}$$

$$A_{sh1} = 0.09 \frac{100 \times 734 \times 35}{420} = 550,5 \text{ mm}^2$$

Sehingga digunakan 5D13-100

$$(A_{sh} = 663,66 \text{ mm}^2) > 550,5 \text{ mm}^2$$

⇒ Pemasangan Tulangan di Luar Daerah Sendi Plastis

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.5, sisa panjang kolom di luar sendi plastis tetap harus dipasang tulangan transversal dengan tidak lebih dari :

$$- 6 \times d_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$$

$$- 150 \text{ mm}$$

Maka dipakai $s = 150 \text{ mm}$

4.4.2.7 Kontrol Kebutuhan Torsi

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2, pengaruh puntir untuk struktur non-prategang yang dibebani tarik atau tekan aksial dapat diabaikan bila nilai momen puntir kurang dari :

$$\begin{aligned} Nu &= 3894000 \text{ N} \\ Tu &= 33 \text{ KNm} \\ Ag &= 640000 \text{ mm}^2 \\ A_{cp} &= 518400 \text{ mm}^2 \\ P_{cp} &= 2920 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_n &= \phi 0.33 \sqrt{f'c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{Nu}{0.33 \sqrt{f'c}}} \\ T_n &= 0.65 \cdot 0.33 \sqrt{40} \left(\frac{640000^2}{3280} \right) \sqrt{1 + \frac{12592089,9}{0.33 \sqrt{40}}} \\ T_n &= 480140,43 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_n &> Tu \\ 480140,43 \text{ KNm} &> 3,3 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Maka tulangan torsi diabaikan.

4.4.3 Disain Sambungan

4.4.3.1 Umum

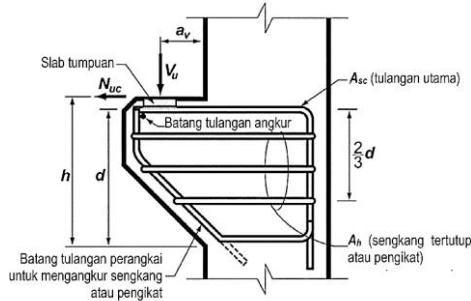
Sambungan berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur ke elemen struktur yang lainnya. Gaya-gaya tersebut untuk selanjutnya diteruskan ke pondasi. Selain itu desain sambungan dibuat untuk menciptakan kestabilan. Suatu sambungan diharapkan dapat mentransfer beberapa gaya secara bersamaan.

4.4.3.2 Perencanaan Sambungan Balok – Kolom

➤ Perencanaan Konsol pada Kolom

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan kolom dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakan pada konsol yang berada pada

kolom yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI 2847:2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek. Bentuk konsol pendek yang dipakai dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4. 20 Geometrik konsol pendek

➤ **Kolom – Balok 35/50**

➤ **Data Perencanaan**

$$V_u = 185 \text{ kN}$$

$$N_{uc} = 37 \text{ kN}$$

$$f'_c = 40 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$d' = 40 \text{ mm}$$

$$\phi_s = 16 \text{ mm (} A_s = 201,06 \text{ mm}^2 \text{)}$$

$$\phi_s = 13 \text{ mm (} A_s = 132,73 \text{ mm}^2 \text{)}$$

$$\text{Lebar konsol (b)} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Linggi konsol (h)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi tepi konsol} = \frac{1}{2} h = \frac{1}{2} \times 300 = 150 \text{ mm}$$

$$d = h - d' - 0,5 \phi_s = 300 - 50 - 0,5 \times 16 = 252 \text{ mm}$$

➤ **Luas Pelat Landasan**

$$V_u = \phi \times (0,85) \times f_c \times A_l$$

$$A_l = \frac{185 \times 10^{-3}}{0,85 \times 40 \times 0,75} = 7254,901 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan $350 \times 200 \text{ mm}^2 = 70000 \text{ mm}^2$ (tebal 15 mm)

➤ **Menentukan Luas Tulangan Geser Friksi**

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada :

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{185}{0,75} = 246,667 \text{ kN} = 246667 \text{ N}$$

$$0,2 f_c' \times b_w \times d = 0,2 \times 40 \times 350 \times 252 = 705600 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$11 b_w d = 11 \times 350 \times 252 = 970200 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$\begin{aligned} A_{vf} &= \frac{V_n}{f_y \times \mu} \\ &= \frac{246667}{420 \times 1,4} \\ &= 419,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

➤ **Luas Tulangan Lentur**

Digunakan perletakan sendi-rol dalam perencanaan konsol pendek yang mengijinkan adana daformasi lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susur jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4 akan digunakan N_{uc} minimum.

$$\begin{aligned} M_u &= V_{ua} \square a + N_{uc} (h-d) \\ &= (256667 \square 100) + (37000 \square (300-252)) \\ &= 20276000 \text{ Nmm} = 20,276 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$A_{vf1} = \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times f_y \times d}$$

$$A_{vf1} = \frac{20276000}{0,85 \times 0,75 \times 420 \times 252} = 300,505 \text{ mm}^2$$

$$A_{vf2} = \frac{Vn}{\mu \times f_y} = \frac{246666}{1,4 \times 420} = 419,501 \text{ mm}^2$$

Jadi dipakai $A_{vf} = 300,505 \text{ mm}^2$

Tulangan pokok A_s :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} = \frac{37000}{0,75 \times 420} = 117,46 \text{ mm}^2$$

➤ **Pemilihan Tulangan**

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.5

$$A_{sc} = A_{vf} + A_n = 300,505 + 117,460 = 417,965 \text{ mm}^2$$

$$A_{sc} = \left(\frac{2 \times A_{vf}}{3} + A_n \right) = \left(\frac{2 \times 300,505}{3} \right) + 117,46 = 397,127 \text{ mm}^2$$

$A_s = 397,127 \text{ mm}^2$ menentukan

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4

$$\begin{aligned} A_h &= 0,5 (A_s - A_n) \\ &= 0,5 (397,127 - 117,460) \\ &= 150,252 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan A_s 3D16 ($A_s = 603,185 \text{ mm}^2$)

Dipakai tulangan A_h 2D13 ($A_h = 265,46 \text{ mm}^2$)

Dipasang sepanjang $(2/3)d = 168$ (vertikal)

dengan spasi $100/2 = 50 \text{ mm}$.

4.4.3.3 Perhitungan Sambungan Balok – Kolom

Sistem sambungan yang digunakan pada sambungan balok dengan kolom memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok

4.4.3.4 Sambungan Balok – Kolom

$$\begin{aligned} db &= 25 \text{ mm} \\ \text{As perlu} &= 1345,61 \text{ mm}^2 \\ \text{As terpasang} &= 1520,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

➤ Panjang Penyaluran Kait Standar Dalam Tarik

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.5, maka :

$$l_{dh} = l_{hb} \frac{f_y}{400}$$

$$l_{dh} \geq 8d_b$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

Didapat :

$$l_{hb} = 100 \times \frac{db}{\sqrt{f'c}} = 100 \times \frac{25}{\sqrt{40}} = 395,29 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = l_{hb} \frac{f_y}{400} = 395,29 \times \frac{420}{400} = 415 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm (OK)}$$

Maka dipakai $l_{dh} = 415 \text{ mm}$ dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam kolom dengan panjang kait standar 90° sebesar $12 db = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$

4.4.3.5 Perencanaan Sambungan Balok Anak – Balok Induk

Perencanaan Konsol pada Balok Induk

➤ Data Perencanaan

$$\begin{aligned} V_u &= 156 \text{ kN} \\ N_{uc} &= 31,2 \text{ kN} \\ f'c &= 40 \text{ Mpa} \\ f_y &= 420 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= 40 \text{ mm} \\
 \phi_s &= 16 \text{ mm (} A_s = 201,06 \text{ mm}^2 \text{)} \\
 \phi_s &= 13 \text{ mm (} A_s = 132,73 \text{ mm}^2 \text{)} \\
 \text{Lebar konsol (b)} &= 200 \text{ mm} \\
 \text{Linggi konsol (h)} &= 100 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi tepi konsol} &= \frac{1}{2} h = \frac{1}{2} \times 300 = 150 \text{ mm} \\
 d &= h - d' - 0,5 \phi_s = 300 - 50 - 0,5 \times 16 = 252 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

➤ **Luas Pelat Landasan**

$$V_u = \phi (0,85) \phi_c \phi A_l$$

$$A_l = \frac{185 \times 10^{-3}}{0,85 \times 40 \times 0,75} = 7254,901 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan $350 \times 200 \text{ mm}^2 = 70000 \text{ mm}^2$ (tebal 15 mm)

➤ **Menentukan Luas Tulangan Geser Friksi**

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada :

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{185}{0,75} = 246,667 \text{ kN} = 246667 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 0,2 f_c' \times b_w \times d &= 0,2 \times 40 \times 350 \times 252 \\
 &= 705600 \text{ N} > V_n \dots \text{OK} \\
 11 b_w d &= 11 \times 350 \times 252 \\
 &= 970200 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{vf} &= \frac{V_n}{f_y \times \mu} \\
 &= \frac{246667}{420 \times 1,4} \\
 &= 419,50 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

➤ Luas Tulangan Lentur

Digunakan perletakan sendi-rol dalam perencanaan konsol pendek yang mengijinkan adana daformasi lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susur jangka pajang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4 akan digunakan Nuc minimum.

$$\begin{aligned} Mu &= V_{ua} \square a + N_{uc} (h-d) \\ &= (256667 \square 100) + (37000 \square (300-252)) \\ &= 20276000 \text{ Nmm} = 20,276 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$A_{vf1} = \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times f_y \times d}$$

$$A_{vf1} = \frac{20276000}{0,85 \times 0,75 \times 420 \times 252} = 300,505 \text{ mm}^2$$

$$A_{vf2} = \frac{Vn}{\mu \times f_y} = \frac{246666}{1,4 \times 420} = 419,501 \text{ mm}^2$$

Jadi dipakai $A_{vf} = 300,505 \text{ mm}^2$

Tulangan pokok As :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} = \frac{37000}{0,75 \times 420} = 117,46 \text{ mm}^2$$

➤ Pemilihan Tulangan

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.5

$$A_{sc} = A_{vf} + A_n = 300,505 + 117,460 = 417,965 \text{ mm}^2$$

$$A_{sc} = \left(\frac{2 \times A_{vf}}{3} + A_n \right) = \left(\frac{2 \times 300,505}{3} \right) + 117,46 = 397,127 \text{ mm}^2$$

$A_s = 397,127 \text{ mm}^2$ menentukan

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4

$$\begin{aligned}
 A_h &= 0,5 (A_s - A_n) \\
 &= 0,5 (397,127 - 117,460) \\
 &= 150,252 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan As 3D16 ($A_s = 603,185 \text{ mm}^2$)

Dipakai tulangan Ah 2D13 ($A_h = 265,46 \text{ mm}^2$)

Dipasang sepanjang $(2/3)d = 168$ (vertikal)
dengan spasi $100/2 = 50 \text{ mm}$.

Penyaluran Tulangan Pada Balok Anak

$$db = 22 \text{ mm}$$

$$As \text{ perlu} = 395,18 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ terpasang} = 760,27 \text{ mm}^2$$

➤ **Panjang Penyaluran Kait Standar Dalam Tarik**

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.5, maka :

$$l_{dh} = l_{hb} \frac{f_y}{400}$$

$$l_{dh} \geq 8d_b$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

Didapat :

$$l_{hb} = 100 \times \frac{db}{\sqrt{f'_c}} = 100 \times \frac{22}{\sqrt{40}} = 347,85 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = l_{hb} \frac{f_y}{400} = 347,85 \times \frac{420}{400} = 365,24 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm (OK)}$$

Maka dipakai $l_{dh} = 365,24 \approx 370 \text{ mm}$ dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam kolom dengan panjang kait standar 90° sebesar $12 db = 264 \text{ mm} \approx 270 \text{ mm}$

4.4.3.6 Perencanaan Sambungan Pelat Lantai – Balok

Berdasarkan perhitungan pada bab sebelumnya, didapatkan hasil penulangan pada pelat sebagai berikut :

$d_b = 13 \text{ mm}$	
Arah X – As perlu	: 168,3 mm ²
As terpasang	: 398,2 mm ²
Arah Y – As perlu	: 168,3 mm ²
As terpasang	: 265,5 mm ²

➤ Penyaluran Arah X

- Kondisi tarik

$$\ell_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$\frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{12f_y\alpha\beta\lambda}{25\sqrt{f_c'}}$$

$$\alpha\beta \leq 1,7 \dots \text{SNI 2847 : 2013 Pasal 12.2.4}$$

Dengan :

α : faktor lokasi penulangan = 1

β : faktor pelapis = 1

λ : faktor beton normal = 1

$$\frac{\lambda_d}{12} = \frac{12 \times 420 \times 1 \times 1 \times 1}{25\sqrt{40}}$$

$$\lambda_d = 414,39 \text{ mm (OK)}$$

Dipakai $\ell_d = 420 \text{ mm}$

- Kondisi tekan

Sesuai SNI 2847:2013 Pasal 12.3

$$\frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{12f_y\alpha\beta\lambda}{25\sqrt{f_c'}}$$

$$\alpha\beta \leq 1,7 \dots \text{SNI 2847 : 2013 Pasal 12.2.4}$$

$$\ell_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\ell_d \geq 0,043 d_b f_y$$

$$\geq 0,043 \times 13 \times 420 = 234,78 \text{ mm}$$

$$\lambda_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{f_c'}} = \frac{13 \times 420}{4 \times \sqrt{40}} = 215,825 \text{ mm}$$

$$\lambda_d = 234,78 \times \frac{168,3}{398,2} = 99,23 \text{ mm (NOT OK)}$$

Dipakai $\ell_d = 200 \text{ mm}$

➤ Penyaluran Arah X

- Kondisi tarik

$$\ell_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$\frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{12 f_y \alpha \beta \lambda}{25 \sqrt{f_c'}}$$

$$\alpha \beta \leq 1,7 \dots \text{SNI 2847 : 2013 Pasal 12.2.4}$$

Dengan :

α : faktor lokasi penulangan = 1

β : faktor pelapis = 1

λ : faktor beton normal = 1

$$\frac{\lambda_d}{12} = \frac{12 \times 420 \times 1 \times 1 \times 1}{25 \sqrt{40}}$$

$$\lambda_d = 414,39 \text{ mm (OK)}$$

Dipakai $\ell_d = 420 \text{ mm}$

- Kondisi tekan

Sesuai SNI 2847:2013 Pasal 12.3

$$\frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{12 f_y \alpha \beta \lambda}{25 \sqrt{f_c'}}$$

$$\alpha \beta \leq 1,7 \dots \text{SNI 2847 : 2013 Pasal 12.2.4}$$

$$\ell_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\ell_d \geq 0,043 d_b f_y$$

$$\geq 0,043 \times 12 \times 420 = 234,78 \text{ mm}$$

4.4.5 Perencanaan Dinding Geser (Shear Wall)

Seluruh dinding geser menahan 75% gaya gempa yang disalurkan ke struktur bangunan. Perencanaan dinding geser dibedakan menjadi Dinding Geser Arah X dan dinding Geser Arah Y.

Dinding Geser Arah X

Dinding geser arah X menahan semua gaya yang mengakibatkan gedung bergerak ke arah sumbu X.

Data Perencanaan Dinding Geser

Dinding geser yang akan direncanakan memiliki data sebagai berikut :

Tebal dinding	: 30 cm
Tebal decking	: 40 mm
Tulangan	: 16 mm
d'	: 210 mm
Mutu tulangan (fy)	: 420 MPa
Mutu beton (f'c)	: 40 Mpa
Tinggi lantai	: 400 cm
Lebar dinding	: 600 cm

Berdasarkan hasil perhitungan ETABS didapat gaya aksial dan momen yang bekerja pada kolom, yaitu :

Pu	: 13295,70 KN
Mu	: 10486,95 KNm
vu	: 1499,24 KN

Kontrol Ketebalan Minimum Dinding Geser

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 14.5.3, ketebalan dinding tidak boleh kurang dari :

$$4.1 \frac{1}{25} \lambda_c = \frac{1}{25} 5500 = 220 \text{ mm} < 400 \text{ mm} \quad \text{ok}$$

$$4.2 240 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \text{ok}$$

Jadi, ketebalan *shear wall* 300 mm sudah memenuhi persyaratan.

Kontrol Dimensi Penampang Terhadap Gaya Geser

Kontrol dimensi penampang dinding geser terhadap gaya geser, tidak boleh diambil melebihi $0.83A_{cv}\sqrt{f'c}$

$$V_u < 0.83A_{cv}\sqrt{f'c}$$

$$1499,24 \text{ KN} < 0.83(30 \times 550) \frac{\sqrt{40}}{10}$$

$$1499,24 \text{ KN} < 8661,5 \text{ KN} \dots \text{Ok}$$

Penulangan Geser *Shear Wall*

Terdapat dua kondisi berdasarkan SNI-03-2847-2013 untuk menentukan jumlah lapisan tulangan pada dinding, yaitu :

- Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2.2 : bahwa sedikitnya harus dipasang dua lapis tulangan pada dinding apabila gaya geser terfaktor melebihi $0.17 \times A_{vc} \times \sqrt{f'c}$

$$V_u < 0.17 \times 30 \times 550 \times \frac{\sqrt{40}}{10}$$

$$1499,24 \text{ KN} < 1774,03 \text{ KN} \rightarrow 1 \text{ lapis tulangan}$$

- Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 14.3.4 : bahwa pada dinding yang mempunyai ketebalan lebih besar dari 250 mm, kecuali dinding ruang bawah tanah harus dipasang dua lapis tulangan.
300 mm > 250 mm

Berdasarkan peraturan SNI 2847:2013, penulangan pada dinding geser menggunakan dua lapis tulangan.

Penulangan Geser Vertikal dan Horizontal

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1, kuat geser dinding struktural dikatakan mencukupi apabila dipenuhi kondisi berikut :

$$V_u < \phi V_n$$

$$V_n = A_{cv} [\alpha_c \sqrt{f'c} + \rho_n f_y]$$

$$\frac{hw}{lw} = \frac{60,5}{6} = 10,08 > 2 ; \text{ maka digunakan } \alpha_c = 0.17$$

Dinding geser direncanakan dengan menggunakan tulangan geser 2 D16 ($A_s = 402.12 \text{ mm}^2$) dengan $s = 200 \text{ mm}$ pada arah vertikal dan horizontal

$$\rho_n = \frac{A_s}{d' \times s} = \frac{2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2}{210 \times 200} = 0,0096$$

$$V_n = 300 \times 5500 \left[0.17\sqrt{40} + 0.0096 \times 420 \right] = 8409081,5 \text{ N}$$

$$V_n = 8409,081 \text{ KN}$$

$$V_u < V_n$$

$$1499,24 \text{ KN} < 8409,081 \text{ KN} \quad \text{Ok}$$

Kontrol Rasio Tulangan Vertikal dan Horizontal

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.4 : Rasio tulangan Vertikal (ρ_l) tidak boleh kurang dari 0.0025
- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.2 : Rasio tulangan horizontal (ρ_t) tidak boleh kurang dari 0.0025

Dipakai tulangan vertikal dan horizontal 2Ø16 ($A_s = 402.12 \text{ mm}^2$) dengan rasio tulangan :

$$\rho_n = \frac{A_s}{d' \times s} = \frac{2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2}{210 \times 200} = 0,0096 > 0.0025$$

Kontrol Spasi Tulangan Vertikal dan Horizontal

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.9.1 : Spasi tulangan vertikal dan tulangan horizontal tidak boleh lebih dari 450 mm.

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm} > 450 \text{ mm} \quad \text{ok}$$

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.3 : Spasi tulangan Horizontal tidak boleh lebih dari :

$$s \leq \frac{L_w}{5} = 1833 \text{ mm}$$

$$s \leq 3h = 1650 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm} \quad \text{Ok}$$

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.5 : Spasi tulangan vertikal tidak boleh lebih dari :

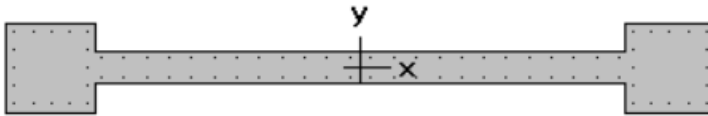
$$s \leq \frac{L_w}{3} = \frac{5500}{3} = 1833 \text{ mm}$$

$$s \leq 3h = 1650 \text{ mm}$$

S pakai = 200 mm Ok

Pengecekan Tulangan Dengan spColumn

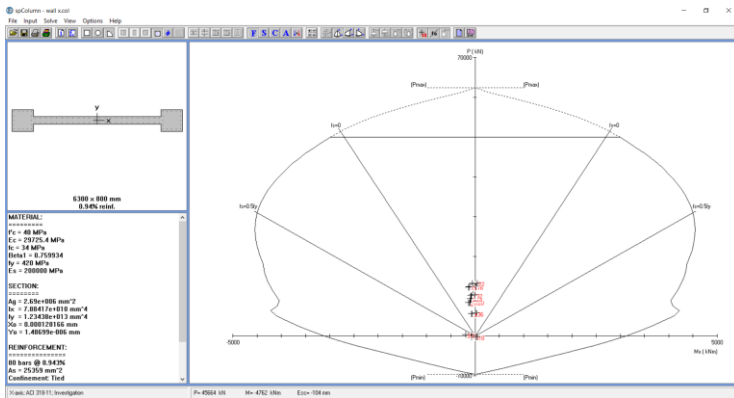
Dinding struktur berfungsi sama seperti kolom yaitu untuk menahan gaya – gaya yang bekerja secara lateral khususnya, maka dari itu dalam perhitungan dinding geser ini menggunakan program bantu spColumn. Pengeplotan gambar menggunakan program bantu Autocad yang disimpan dengan file .dxf yang kemudian diimport spColumn.



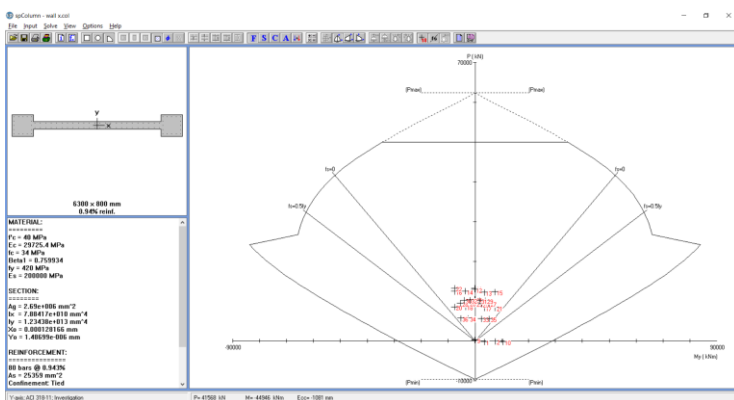
Gambar 4. 21 Dinding Geser x

Permodelan yang dihitung dari analisa program bantu ETABS diexport ke notepad dan diimport section cut kombinasi beban dari dinding geser dengan notepad.

Hasil dari analisa spColumn adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 22 Output spColumn Arah X



Gambar 4. 23 Output spColumn Arah Y

Dinding Geser Arah Y Dara Perencanaan Dinding Geser

Dinding geser yang akan direncanakan memiliki data sebagai berikut :

Tebal dinding	: 30 cm
Tebal decking	: 40 mm
Tulangan	: 16 mm
d'	: 210 mm

Mutu tulangan (f_y)	: 420 MPa
Mutu beton (f'_c)	: 40 Mpa
Tinggi lantai	: 755 cm
Lebar dinding	: 550 cm

Berdasarkan hasil perhitungan ETABS didapat gaya aksial dan momen yang bekerja pada kolom, yaitu :

Gaya aksial	: 15653,49 KN
Momen	: 13920 KNm
Gaya geser	: 1431,79 KN

Kontrol Ketebalan Minimum Dinding Geser

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 14.5.3, ketebalan dinding tidak boleh kurang dari :

1. $\frac{1}{25} \lambda_c = \frac{1}{25} 3000 = 120 \text{ mm} < 400 \text{ mm} \quad \text{ok}$
2. $120 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \text{ok}$

Jadi, ketebalan *shear wall* 300 mm sudah memenuhi persyaratan.

Kontrol Dimensi Penampang Terhadap Gaya Geser

Kontrol dimensi penampang dinding geser terhadap gaya geser, tidak boleh diambil melebihi $0.83 A_{cv} \sqrt{f'_c}$

$$V_u < 0.83 A_{cv} \sqrt{f'_c}$$

$$717,81 \text{ KN} < 0.83(30 \times 755) \frac{\sqrt{40}}{10}$$

$$1431,79 \text{ KN} < 3937 \text{ KN} \dots \text{Ok}$$

Penulangan Geser *Shear Wall*

Terdapat dua kondisi berdasarkan SNI 2847:2013 untuk menentukan jumlah lapisan tulangan pada dinding, yaitu :

- a. Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2.2 : bahwa sedikitnya harus dipasang dua lapis tulangan pada dinding apabila gaya geser terfaktor melebihi $0.17 \times A_{vc} \times \sqrt{f'_c}$

$$Vu < 0.17 \times 30 \times 755 \times \frac{\sqrt{40}}{10}$$

$$1431,79 \text{ KN} < 2029,39 \text{ KN} \rightarrow 1 \text{ lapis tulangan}$$

- b. Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 14.3.4 : bahwa pada dinding yang mempunyai ketebalan lebih besar dari 250 mm, kecuali dinding ruang bawah tanah harus dipasang dua lapis tulangan.
 $250 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$

Berdasarkan peraturan SNI 2847:2013, penulangan pada dinding geser menggunakan dua lapis tulangan.

Penulangan Geser Vertikal dan Horizontal

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1, kuat geser dinding struktural dikatakan mencukupi apabila dipenuhi kondisi berikut :

$$Vu < \phi Vn$$

$$Vn = A_{cv} [\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n f_y]$$

$$\frac{hw}{lw} = \frac{75,5}{3} = 20,08 > 2 ; \text{ maka digunakan } \alpha_c = 0.17$$

Dinding geser direncanakan dengan menggunakan tulangan geser D16 ($A_s = 201.06 \text{ mm}^2$) dengan $s = 200 \text{ mm}$ pada arah vertikal dan horizontal

$$\rho_n = \frac{A_s}{d' \times s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2}{210 \times 200} = 0,0048$$

$$Vn = 300 \times 7550 [0.17 \sqrt{40} + 0.0048 \times 420] = 6989322,7 \text{ N}$$

$$Vn = 6989,322 \text{ KN}$$

$$Vu < Vn$$

$$1431,79 \text{ KN} < 6989,322 \text{ KN} \quad \text{Ok}$$

Kontrol Rasio Tulangan Vertikal dan Horizontal

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.4 : Rasio tulangan Vertikal (ρ_l) tidak boleh kurang dari 0.0025

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.2 : Rasio tulangan horizontal (ρ_t) tidak boleh kurang dari 0.0025

Dipakai tulangan vertikal dan horizontal $\emptyset 16$ ($A_s = 201.06 \text{ mm}^2$) dengan rasio tulangan :

$$\rho_n = \frac{A_s}{d' \times s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2}{210 \times 200} = 0,0048 > 0.0025$$

Kontrol Spasi Tulangan Vertikal dan Horizontal

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.9.1 : Spasi tulangan vertikal dan tulangan horizontal tidak boleh lebih dari 450 mm.

S pakai = 200 mm > 450 mm ok

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.3 : Spasi tulangan Horizontal tidak boleh lebih dari :

$$s \leq \frac{Lw}{5} = 600 \text{ mm}$$

$$s \leq 3h = 1200 \text{ mm}$$

S pakai = 200 mm Ok

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.5 : Spasi tulangan vertikal tidak boleh lebih dari :

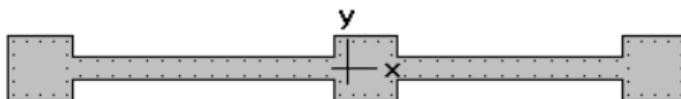
$$s \leq \frac{Lw}{3} = \frac{6000}{3} = 2000 \text{ mm}$$

$$s \leq 3h = 1200 \text{ mm}$$

S pakai = 200 mm Ok

Pengecekan Tulangan Dengan spColumn

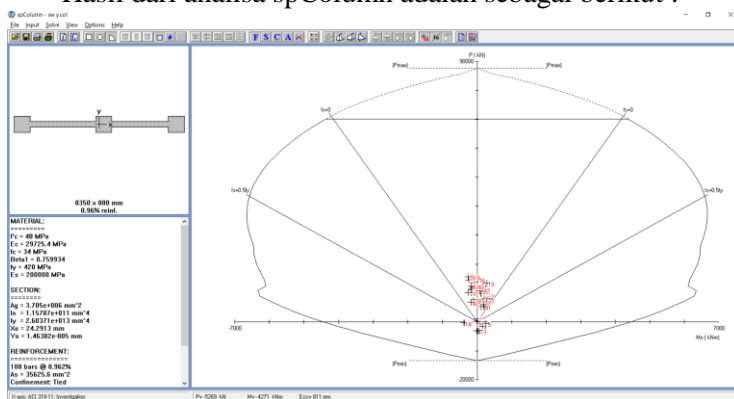
Dinding struktur berfungsi sama seperti kolom yaitu untuk menahan gaya – gaya yang bekerja secara lateral khususnya, maka dari itu dalam perhitungan dinding geser ini menggunakan program bantu spColumn. Pengeplotan gambar menggunakan program bantu Autocad yang disimpan dengan file .dxf yang kemudian diimport spColumn.



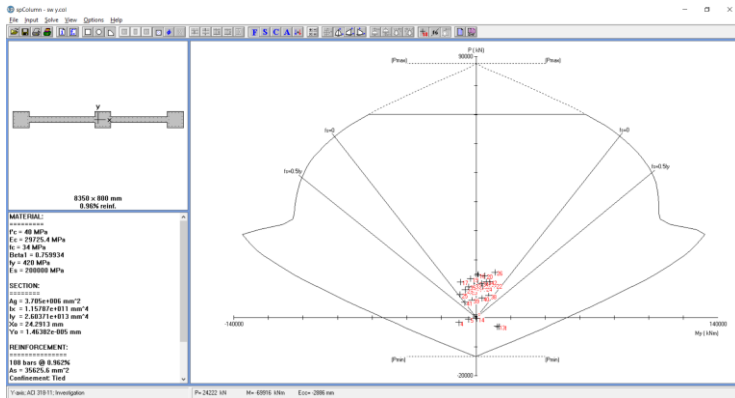
Gambar 4. 24 Dinding Geser y

Permodelan yang dihitung dari analisa program bantu ETABS diexport ke notepad dan diimport section cut kombinasi beban dari dinding geser dengan notepad.

Hasil dari analisa spColumn adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 25 Output spColumn Arah X



Gambar 4. 26 Output spColumn Arah Y

Rekap tulangan pada Dinding Geser (Shear Wall) arah X dan Y :

Tulangan Geser Vertikal : 2D16-200mm

Tulangan Geser Horizontal : 2D16-200mm

4.4.6 Disain Pondasi

Kombinasi pembebanan yang digunakan untuk menghitung bangunan bawah didapat dari perhitungan ETABS sebesar

Gambar 4. 27 Kombinasi pembebanan

Kombinasi	Fx	Fy	Fz
	KN	KN	KN
1D	5.2638	6.0386	3802.465
1D+0.75L+0.525Ex	12.5342	11.7591	4488.991
1D+0.75L+0.525E y	10.5529	18.2178	4476.601
1D+0.7Ex	14.3337	12.0652	3870.094
1D+0.3L	4.9089	5.5986	3615.263
1D+1L	6.871	8.0311	4650.204

Dengan spesifikasi

$$f'_c = 40 \text{ MPa}$$

$$f_r = 3,92 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{beton}} = 29725 \text{ MPa}$$

4.4.6.1 Perhitungan kuat tiang pancang tunggal

Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal, yaitu daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi (Q_p) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah (Q_r). Sehingga daya dukung total dari tanah dapat dirumuskan :

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Di samping peninjauan berdasarkan kekuatan tanah tempat pondasi tiang pancang di tanam, daya dukung suatu tiang juga harus ditinjau berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang tersebut.

Hasil daya dukung yang menentukan yang dipakai sebagai daya dukung ijin tiang. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu daya dukung tiang pancang tunggal yang berdiri sendiri dan daya dukung tiang pancang dalam kelompok. Perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji *SPT*

Di mana:

Q_u = daya dukung satu tiang pancang maksimum

Q_p = daya dukung ultimate dari dasar tiang pancang

Q_s = daya dukung ultimate dari lekatan tanah

Nilai Q_p dapat dihitung menggunakan persamaan

$$Q_p = A_{\text{pile}} \times 40 \times N_p$$

Di mana:

A_{pile} = luas permukaan *pile* pada dasar *pile*

N_p = nilai rata-rata dari N_2 4D ke atas dan 4D ke bawah

Nilai Q_s dapat dihitung menggunakan persamaan

$$Q_s = \sum f_{si} \times h_i \times P_i$$

Di mana:

f_{si} = kuat lekatan tanah pada pias

h_i = tinggi pias

p_i = keliling tiang pancang pada pias

nilai f_{si} bisa didapat menggunakan persamaan

- jika tanah lempung

$$f_{si} = N_2/2 \left(\text{ton}/\text{m}^2 \right)$$

- jika tanah selain lempung

$$f_{si} = N_2/5 \left(\text{ton}/\text{m}^2 \right)$$

Di mana nilai N_2 sebesar

- jika tekanan tanah efektif (σ_0) lebih besar dari 7,5 ton/m²

$$N_2 = \frac{4 \times N_1}{3,25 + 0,1 \times P_0}$$

- jika tekanan tanah efektif (σ_0) kurang dari 7,5 ton/m²

$$N_2 = \frac{4 \times N_1}{1 + 0,4 \times P_0}$$

Dengan syarat nilai N_2 tidak boleh lebih besar dari $2N_1$

Di mana nilai N_1 sebesar

- untuk tanah pasir di bawah MAT dengan $N > 15$

$$N_1 = 0,6 \times N$$

- untuk tanah selain yang disebutkan

$$N_1 = N$$

N adalah nilai ketukan dari hasil tes SPT.

Tabel 4. 13 Daya Dukung Tanah

Pile Depth m	N-SPT bpf	N _p	K	N ₁ t/m ²	N _s t/m ²	q _s t/m ²	A _s m ²	Q _s ton	q _p t/m ²	A _p m ²	Q _p ton	Q _{all} ton	Q _{all} (ton) - SF= 2.5 Comp.
2.00	0	11.0	12	3.0	3.0	2.00	2.5	5.03	132.0	0.125664	16.59	21.61	8.65
4.00	22	16.0	12	22.0	12.5	5.17	5.0	25.97	192.0	0.125664	24.13	50.10	20.04
6.00	26	25.0	12	26.0	17.0	6.67	7.5	50.27	300.0	0.125664	37.70	87.96	35.19
8.00	27	30.0	12	27.0	19.5	7.50	10.1	75.40	360.0	0.125664	45.24	120.64	48.25
10.00	37	38.0	40	37.0	23.0	8.67	12.6	108.91	1520.0	0.125664	191.01	299.92	119.97
12.00	50	40.3	12	50.0	27.5	10.17	15.1	153.31	484.0	0.125664	60.82	214.13	85.65
14.00	34	39.7	32	34.0	28.4	10.48	17.6	184.31	1269.3	0.125664	159.51	343.82	137.53
16.00	35	34.7	32	35.0	29.3	10.75	20.1	216.14	1109.3	0.125664	139.40	355.54	142.22
18.00	35	34.7	25	35.0	29.9	10.96	22.6	247.98	866.7	0.125664	108.91	356.88	142.75
20.00	34	39.7	40	34.0	30.3	11.10	25.1	278.97	1586.7	0.125664	199.39	478.36	191.34
22.00	50	44.7	40	50.0	32.1	11.70	27.6	323.37	1786.7	0.125664	224.52	547.89	219.16
24.00	50	50.0	40	50.0	33.6	12.19	30.2	367.78	2000.0	0.125664	251.33	619.10	247.64
26.00	50	50.0	40	50.0	34.8	12.62	32.7	412.18	2000.0	0.125664	251.33	663.50	265.40
28.00	50	50.0	40	50.0	35.9	12.98	35.2	456.58	2000.0	0.125664	251.33	707.91	283.16
30.00	50	50.0	40	50.0	36.9	13.29	37.7	500.98	2000.0	0.125664	251.33	752.31	300.92
32.00	50	50.0	40	50.0	37.7	13.56	40.2	545.38	2000.0	0.125664	251.33	796.71	318.68

Dari hasil perhitungan di atas, maka dapat diambil data sebagai berikut :

Kedalaman tiang pancang 24 m dengan daya dukung tanah sebesar 247,64

4.4.6.2 Kontrol Tiang Pancang Beregu

Karena tiang pancang berdempetan, maka kekautan dari lekatanpun berkurang, sehingga efektifitas dari setiap tiang pancang harus diperhitungkan kembali dengan persamaan coverse-laberra

$$\eta = 1 - \frac{ATAN(\phi/s)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

$$\eta = 1 - \frac{ATAN(0.6/1.5)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\right) = 0,76$$

sehingga kuat individu tiang pancang dalam kelompok adalah

$$Q_{izin} = Q \times \eta$$

$$Q_{izin} = 247,64 \times 0,78$$

$$Q_{izin} = 193,15 \text{ ton}$$

Gaya tekan maksimum tiang pancang dihitung menggunakan persamaan

$$Q_{max} = \frac{Fz}{n} + \frac{F_y \times h \times y_{max}}{\sum y_i} + \frac{F_x \times h \times y_{max}}{\sum x_i}$$

Di mana:

h = jarak dari pondasi ke dasar.

n = Jumlah tiang pancang pada satu pilecap

Dalam perhitungan ini nilai h adalah 1 m.

Lokasi titik jepit dari tiang pancang dapat dihitung menggunakan persamaan

$$Z_f = \sqrt[5]{\frac{E_{beton} \times I_{pile}}{f}}$$

Bila tanah lembek, maka nilai f sebesar 0,0032 N/mm².

$$Z_f = \sqrt[5]{\frac{29725 \times 12723450247}{0.0032}}$$

$$Z_f = 2,26 \text{ m}$$

Untuk menghitung defleksi maksimum dari tiang pancang digunakan persamaan

$$\Delta = F_d \times \frac{P Z_f^3}{EI}$$

Di mana nilai F_d didapat sebesar 0,94. Dengan syarat defleksi tidak melebihi 2,5 cm.

Untuk menghitung dmomen maksimum dari tiang pancang digunakan persamaan

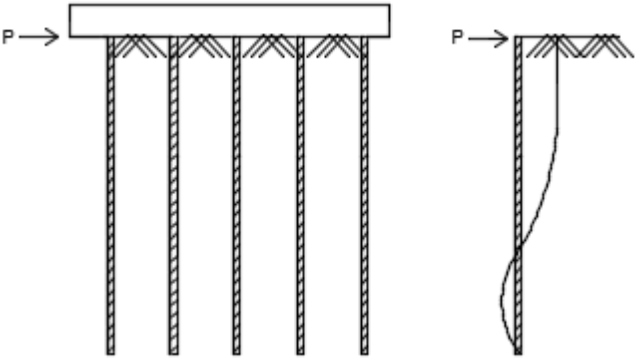
$$\Delta = F_m \times P \times Z_f$$

Di mana nilai F_m didapat sebesar 0.89.

Spesifikasi dari tiang pancang seusai dengan tiang pancang produksi WIKA Beton grade 80 sesuai pada gambar 4.27. maka digunakan diameter 600 mm class A dengan M_{cr} sebesar **203,6 KN.m** dan Q_{izin} **3560 KN**.

Tabel 4. 14 Spesifikasi tiang pancang WIKA beton

PRE-TENSIONED SPUN HIGH STRENGTH CONCRETE PILES SPECIFICATION												
Grade 80 Piles												
Outer Diameter (mm)	ConcreteWall Thickness (mm)	Class	PC. Bar			Concrete Sectional Area (cm²)	Concrete Moment Inertia (cm⁴)	Effective Prestress (kg/cm²)	Allowable Axial Load (ton)	Bending Moment		Nominal Weight (kg/m)
			Diameter (mm)	Number	Sectional Area (cm²)					Cracking (Lm)	Ultimate (Lm)	
									ACI 543-1979			
300	60	A	7.1	6	2.37	452	35416	49.59	102	2.88	3.16	118
350	70	A	7.1	8	3.17	616	65533	48.71	139	4.54	6.75	161
400	75	A	7.1	10	3.96	766	108803	48.97	173	6.61	9.73	200
		B	9	12	7.63	766	111001	87.45	165	8.88	13.51	200
450	80	A	9	8	5.09	930	170556	51.59	209	9.41	10.13	242
		B	9	16	10.17	930	174626	94.54	198	12.97	20.27	242
		C	9	20	12.72	930	176660	112.77	194	14.55	25.34	242
500	90	A	9	10	6.36	1159	261750	51.78	261	13.02	14.08	302
		B	9	18	11.45	1159	266994	86.95	250	17.04	25.34	302
		C	9	24	15.26	1159	270927	109.67	243	19.75	33.78	302
600	100	A	9	12	7.63	1571	522308	44.38	356	20.36	29.87	409
		B	9	24	15.26	1571	534365	82.21	340	27.57	48.61	409
		C	9	32	20.35	1571	542404	103.80	331	31.89	55.53	409



Gambar 4. 28 Defleksi tiang pancang

Gambar 4. 29 Kontrol tiang pancang

Kombinasi	Qmax	Vmax	Δ	Mmax	Kontrol
	KN	KN	mm	KN.m	
1D	952.1233	2.00269	0.057536	4.030086	OK!
1D+0.75L +0.525Ex	1125.487	4.296675	0.123441	8.646354	OK!
1D+0.75L +0.525Ey	1122.986	5.263387	0.151214	10.59171	OK!
1D+0.7Ex	971.0434	4.683909	0.134566	9.425599	OK!
1D+0.3L	905.2168	1.861478	0.053479	3.74592	OK!
1D+1L	1164.538	2.642314	0.075912	5.317225	OK!

4.4.6.3 Kontrol Kuat Geser *Pilecap*

Pilecap yang akan dihitung adalah tipe PC1 dengan spesifikasi

h	= 1500 mm
d	= 1500 – 75 – 19 = 1405,95 mm
Lx	= 3000 mm
Ly	= 3000 mm

Pilecap adalah elemen dari gedung yang mengalami momen dan geser yang besar dari tiang pancang dan kolom. Oleh karena itu, *punch shear* dari kolom dan tiang pancang haruslah diperhitungkan. Kuat geser dapat diperhitungkan dengan persamaan:

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \times U \times d$$

$$V_c = 0,083 \frac{d \times \alpha}{U} \times \sqrt{f'_c} \times U \times d$$

$$V_c = 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times U \times d$$

Di mana:

β = rasio bentang terpanjang *pilecap* terhadap beban terkecil

α = untuk kolom interior gunakan nilai 40

U = keliling geser

Nilai V_c diambil yang terkecil dari tiga nilai tersebut

Kontrol *Punch Shear* kolom

$$\begin{aligned} P_u &= P_{\text{kolom}} \\ &= 3525 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times \frac{\sqrt{40}}{6} \times 6011 \times 1405,95 = 26728 \text{ KN}$$

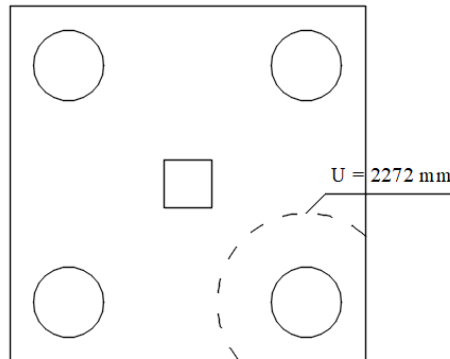
$$V_c = 0,083 \frac{1405,95 \times 40}{6011} \times \sqrt{40} \times 6011 \times 1405,95 = 41505 \text{ KN}$$

$$V_c = 0,33 \times \sqrt{40} \times 6011 \times 1405,95 = 17189 \text{ KN}$$

Sehingga didapat nilai V_c terkecil adalah 17189 **KN**.

$V_c > P_u$ (3525 KN) OK!

Kontrol *puch shear* tiang pancang



Gambar 4. 30 keliling geser tiang pancang

$$\begin{aligned} P_u &= P_{\text{pancang}} \\ &= 1164 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times \frac{\sqrt{40}}{6} \times 2272 \times 1405 = 4353 \text{ KN}$$

$$V_c = 0,083 \frac{900 \times 40}{2272} \times \sqrt{40} \times 2272 \times 900 = 41505 \text{ KN}$$

$$V_c = 0,33 \times \sqrt{40} \times 2272 \times 900 = 6734 \text{ KN}$$

Sehingga didapat nilai V_c terkecil adalah **6735 KN**.

$V_c > P_u$ (1164 KN) OK!

Kontrol *oneway shear*

$$V_u = 2 \times P_{\text{pancang}}$$

$$V_u = 2 \times 1164$$

$$V_u = 1184 \text{ KN}$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times \frac{\sqrt{40}}{6} \times 3000 \times 1405 = 4353 \text{ KN}$$

$$V_c = 0,083 \frac{900 \times 40}{2272} \times \sqrt{40} \times 3000 \times 900 = 41505 \text{ KN}$$

$$V_c = 0,33 \times \sqrt{40} \times 2272 \times 900 = 6734 \text{ KN}$$

Sehingga didapat nilai V_c terkecil adalah **6734 KN**.

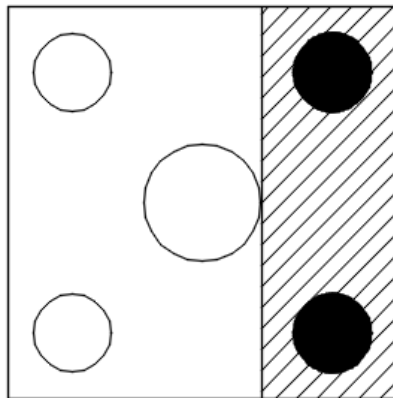
$V_c > P_u$ (2368 KN) OK!

4.4.6.4 Penulangan Pilecap

Beban terbagi merata yang bekerja di atas *pilecap* terdiri dari berat struktur *pilecap* sendiri.

$$q = 4.5 \times 0,7 \times 24 = 75,6 \text{ KN/m}$$

Arah X



Gambar 4. 31 Lokasi kritis momen arah X

$$M_u = n \times P_{pile} \times x - \frac{1}{2} \times q \times x^2$$

$$M_u = 2 \times 1125 \times 0,75 - \frac{1}{2} \times 75,6 \times 0,75^2$$

$$= 5035 \text{ KN.m}$$

$$A_s = \frac{M_u}{f_y \times j \times d}$$

$$A_s = \frac{5035 \times 10^6}{250 \times 0,8 \times 1405} = 17906 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{b}{A_s/A_{D19}}$$

$$S = \frac{3000}{17906/283} \approx 70 \text{ mm}$$

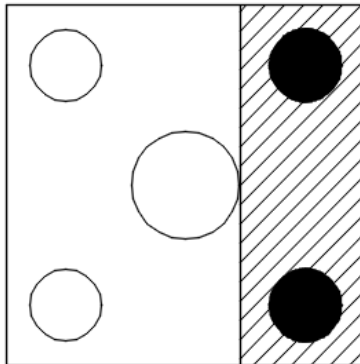
Tulangan tekan yang dibutuhkan:

$$A_s' = A_s \times 0,5$$

$$A_s' = 17906 \times 0,5 = 8953 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{3000}{8953/283} \approx 200 \text{ mm}$$

Arah Y



Gambar 4. 32 Lokasi kritis momen arah Y

$$M_u = n \times P_{pile} \times x - \frac{1}{2} \times q \times x^2$$

$$M_u = 2 \times 1125 \times 0,75 - \frac{1}{2} \times 75,6 \times 0,75^2$$

$$= 4541 \text{ KN.m}$$

$$A_s = \frac{M_u}{f_y \times j \times d}$$

$$A_s = \frac{905,7 \times 10^6}{250 \times 0,8 \times 1405} = 16150 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{b}{A_s/A_{D19}}$$

$$S = \frac{3000}{16150/283} \approx 70 \text{ mm}$$

Tulangan tekan yang dibutuhkan:

$$A_s' = A_s \times 0,5$$

$$A_s' = 16150 \times 0,5 = 8075 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{3000}{3737/283} \approx 200 \text{ mm}$$

4.5 Metode pelaksanaan

Dalam setiap pekerjaan konstruksi, metode pelaksanaan merupakan item penting yang tidak bisa dipisahkan. Apalagi menyangkut struktur beton pracetak. Untuk merencanakan beton pracetak, terlebih dahulu harus diketahui apakah struktur tersebut bisa dilaksanakan. Tahap pelaksanaan ini akan diuraikan mengenai item – item pekerjaan konstruksi dan pembahasan mengenai pelaksanaan yang berkaitan dengan penggunaan material – material beton pracetak, proses pekerjaan yang dilakukan di proyek ini adalah ;

- Proses pencetakan secara pabrikasi di Industri pracetak. Hal – hal yang perlu dipertimbangkan dengan proses pabrikasi adalah :
 - a. Perlunya standart khusus sehingga hasil paracetak dapat diaplikasikan secara umum di pasaran
 - b. Terbatasnya fleksibilitas ukuran yang disediakan untuk elemen pracetak yang disebabkan karena harus mengikuti elemen pracetak yang disebabkan karena harus mengikuti kaidah sistem dimensi satuan yang disepakati bersama dalam bentuk kelipatan suatu modul.
 - c. Dengan cara ini dimungkinkan untuk mencari produk yang terbaik dari lain pabrik.

4.5.1 Pengangkatan dan Penempatan Crane

Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pengangkatan elemen pracetak antara lain :

1. kemampuan maksimum crane yang digunakan
2. metode pengangkatan
3. letak titik – titik angkat pada elemen pracetak

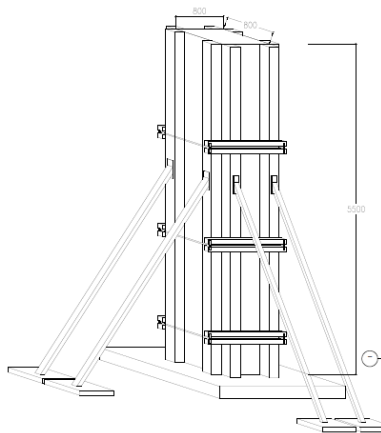
hal – hal tentang pengangkatan dan penentuan tidak angkat telah dibahas pada bab – bab sebelumnya. Dalam perencanaan ini memakai peralatan tower crane untuk mengangkat elemen pracetak

di lapangan. Untuk pemilihan tower crane harus disesuaikan antara kemampuan angkat crane dengan berat elemen pracetak.

- Jenis crane POTAIN MR 160 C
- Jarak jangkau maksimum 40 m dengan beban maksimum 4,2 ton
- Tower crane yang digunakan 1 buah

4.5.2 Pekerjaan Elemen Kolom

Setelah dilakukan pemancangan, pembuatan pile cap dan sloof, maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pendimensian pile cap. Tulangan kolom bersamaan dengan tulangan konsol yang telah disiapkan dicor sampai batas yang sudah ditentukan. Dalam hal ini sampai ketinggian permukaan bawah balok induk yang menumpang pada kolom.



Gambar 4. 33 Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom

4.5.3 Pemasangan Elemen Balok Induk

Pemasangan balok pracetak setelah pengecoran kolom. Balok induk dipasang terlebih dahulu baru kemudian dilanjutkan dengan pemasangan balok anak. Diperlukan peralatan crane dan scaffolding untuk membantu menunjang balok pracetak.

Kemudian dapat dilanjutkan dengan pemasangan tulang utama pada balok yaitu tulangan tarik pada tumpuan. Lalu setelah tulangan terpasang baru dilakukan pengecoran.

4.5.4 Pemasangan Elemen Balok Anak

Pemasangan balok anak pracetak di bagian tengah balok induk. Konsol tempat bertumpunya balok anak pun terbuat dari beton pracetak dengan balok.

Setelah balok anak dan balok induk terpasang, maka dilanjutkan dengan pemasangan tangga di tempat yang sudah disediakan. Pengangkatan tangga dilakukan dengan posisi tangga datar

4.5.5 Pemasangan Elemen Pelat

Pemasangan pelat pracetak di atas balok induk dan balok anak sesuai dengan dimensi pelat yang sudah ditentukan. Pemasangan tulangan bagian atas, baik tulangan tumpuan maupun tulangan lapangan untuk pelat, balok anak dan balok induk.

Setelah semua tulangan terpasang, kemudian dilakukan pengecoran pada bagian atas pelat, balok anak, dan balok induk yang berfungsi sebagai topping atau penutup bagian atas. Selain itu topping juga berfungsi untuk merekatkan komponen pelat

(Halaman ini sengaja dikonsongkan...)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan struktur yang dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir “Perencanaan Modifikasi Gedung Brooklyn Serpong Menggunakan Precast Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)” maka disimpulkan beberapa data sebagai berikut :

1. Berdasarkan SNI 2847:2013 dan SNI 7833:2012 didapatkan perhitungan tebal dimensi struktur sekunder dan struktur primer dari beberapa elemen struktur berikut :

a. Struktur Sekunder

- Dimensi balok anak $= 25/40 \text{ cm}$
- Tebal pelat $= 14 \text{ cm}$

b. Struktur Primer

- Dimensi balok induk $= 35/55 \text{ cm}$
- Dimensi kolom $= 80/80 \text{ cm}$
- Dimensi pilecap $= 3 \times 3 \times 1,5 \text{ m}$
- Tiang pancang $= D60, H = 24\text{m}$
- Tebal *shearwall* $= 30 \text{ cm}$

2. Perhitungan respon spectrum dengan bantuan puskim.pu.go.id wilayah gempa Serpong dan perhitungannya berdasarkan SNI 1726:2012. Perhitungan pembebanan berdasarkan SNI 1727:2013.

3. Analisa gaya dalam struktur gedung menggunakan program bantu ETABS. Gaya yang dimasukkan dalam permodelan adalah beban mati dan beban hidup berdasarkan peraturan di atas.

4. Detailing penulangan elemen pracetak hampir sama dengan elemen cor setempat, sehingga sesuai dengan SNI 2847:2013
6. Pondasi yang direncanakan sesuai dengan ketentuan perhitungan tiang pancang (spun pile) produk dari WIKABETON dengan metode tengangan ijin dan pile cap (poer) berdasarkan metode tengangan ultimate.
7. Hasil analisa struktur yang telah dilakukan pada Gedung Brooklyn Serpong digambar dengan program bantu AutoCad terlampir.

5.2 Saran

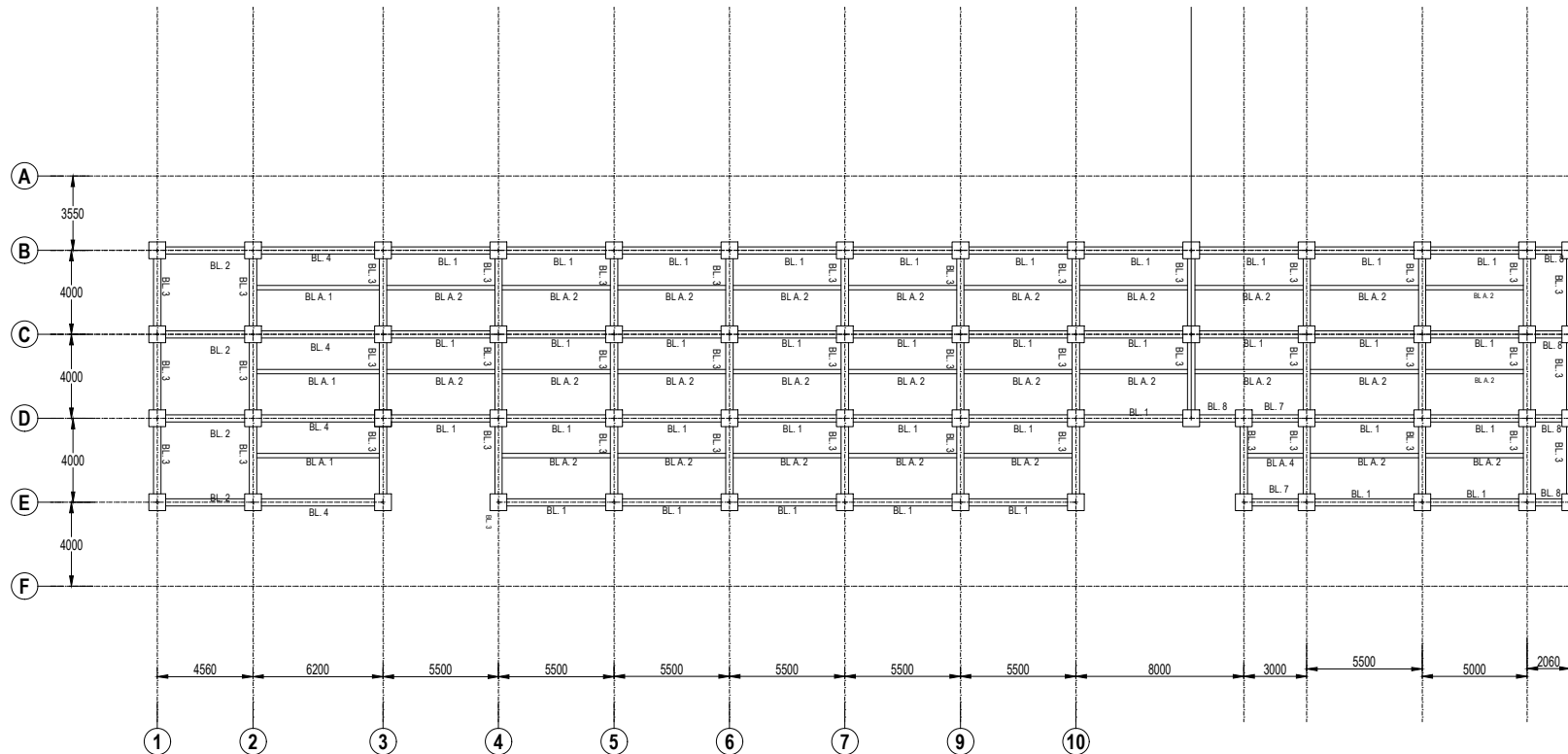
Berdasarkan analisa secara keseluruhan dari proses penyusunan tugas akhir ini, beberapa saran yang dapat disampaikan oleh penulis diantaranya adalah :

1. Macam komponen pracetak sebaiknya tidak terlalu banyak. Dengan begitu bekisting menjadi lebih hemat, pengerjaan dilapangan menjadi lebih mudah dan cepat.
2. Dalam merencanakan gedung dengan metode pracetak pelaksanaan pengangkatan harus diperhatikan agar tidak terjadi kegagalan struktur.
3. Aspek biaya diperhitungkan agar dapat diketahui kelebihan dan kekurangannya dari segi ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

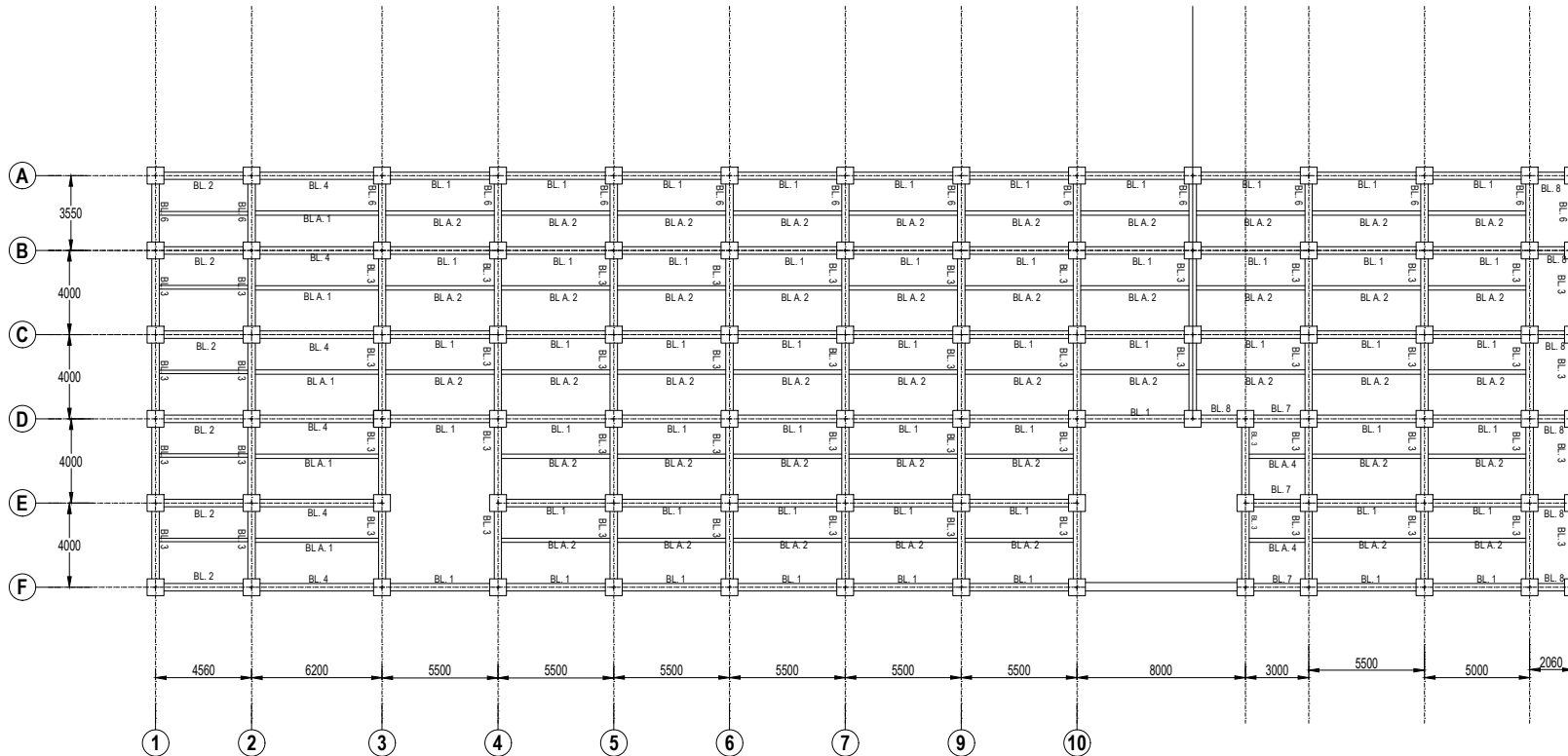
- [1] ACI. ACI 318-11 Building Code Requirements for Structural Concrete. U.S.A : American Concrete Institute.
- [2] Badan Standardisasi Nasional. 2012. SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
- [3] Badan Standardisasi Nasional. 2012. SNI 2847:13 Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
- [4] Badan Standardisasi Nasional. 2012. SNI 1727:2012 Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Gedung. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
- [5] Departemen Pekerjaan Umum, 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG). Jakarta, Indonesia
- [6] McCormac dan Brown. 2014. Design of Reinforced Concrete 9th Edition. USA

(Halaman ini sengaja dikonsongkan...)

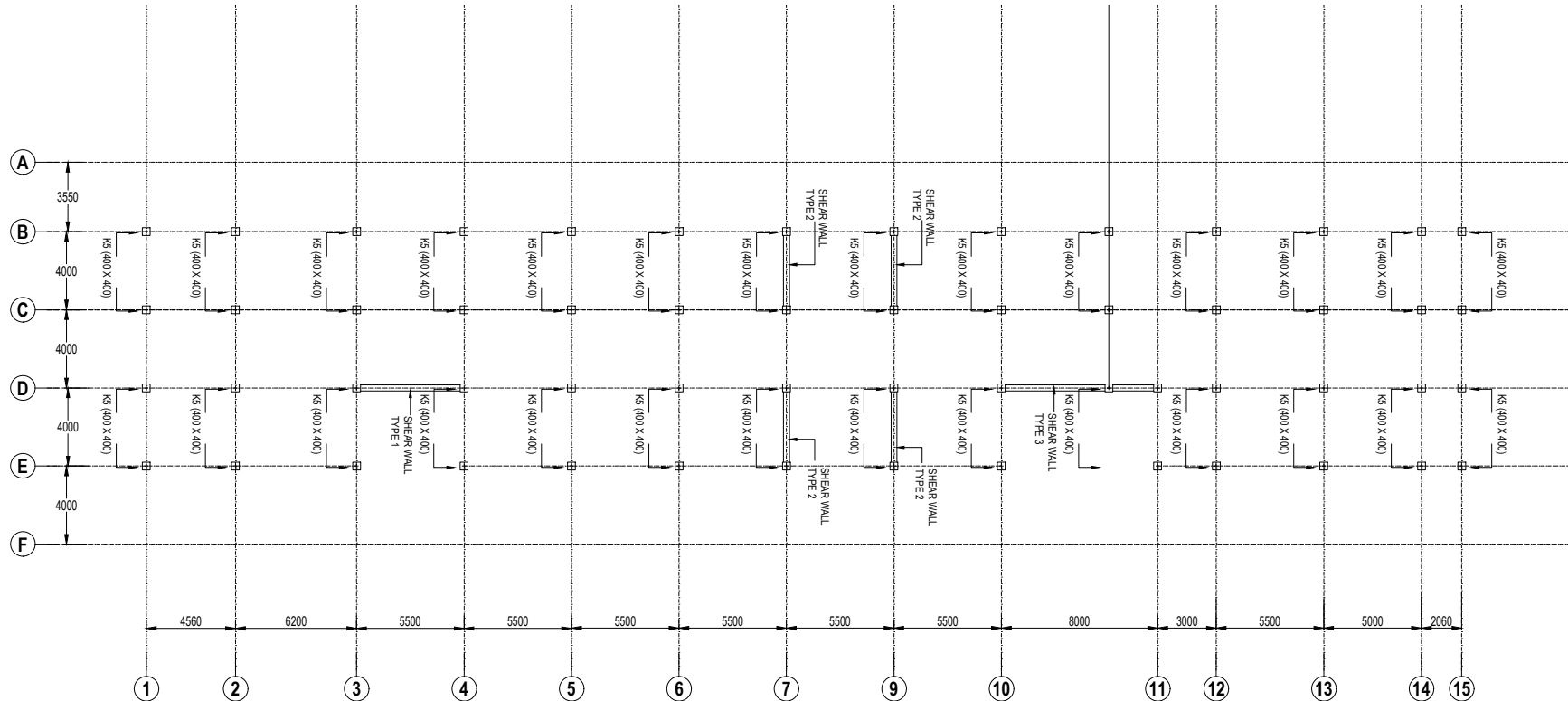


DENAH RENCANA BALOK TYPICAL

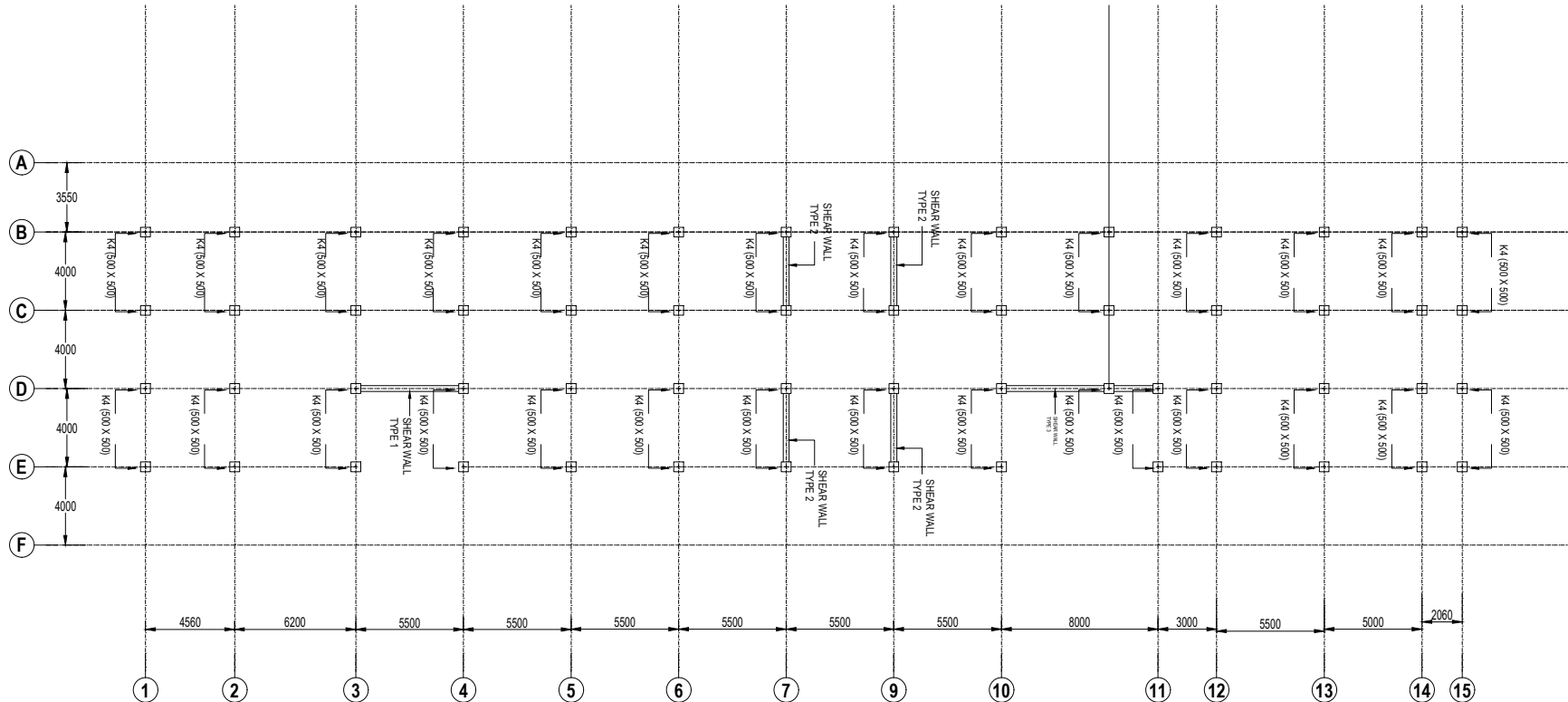
SKALA : 1:150



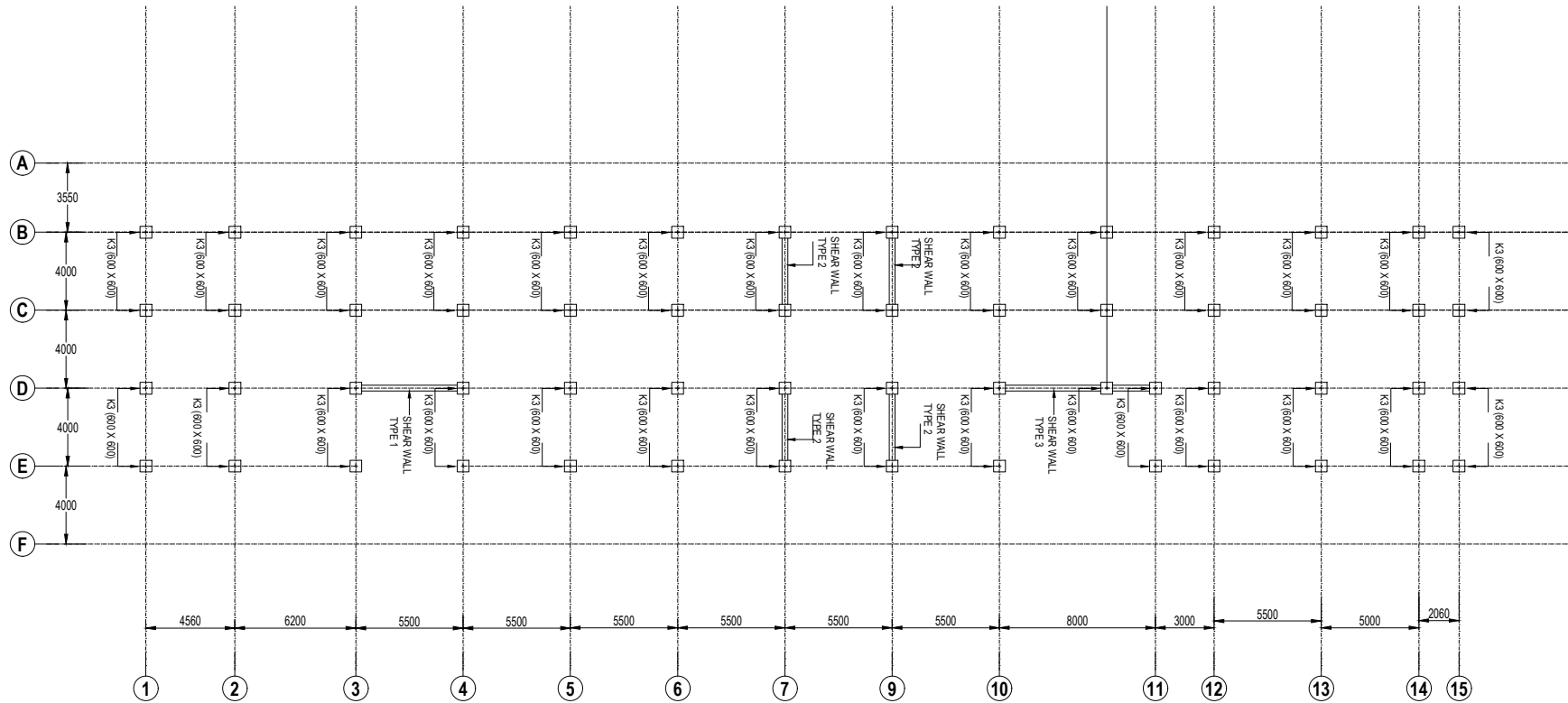
DENAH RENCANA BALOK TYPICAL
SKALA : 1:150

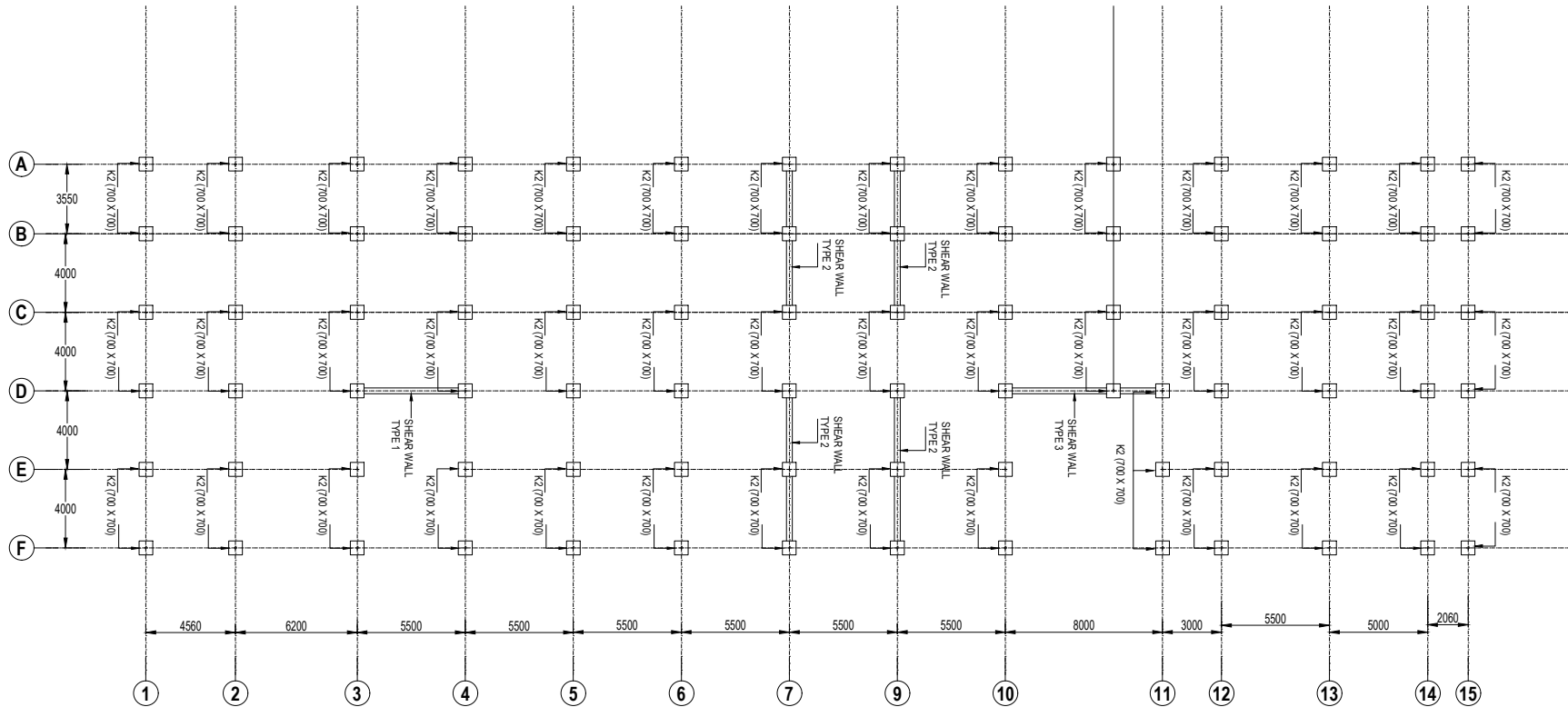


DENAH RENCANA KOLOM K5
SKALA : 1:150

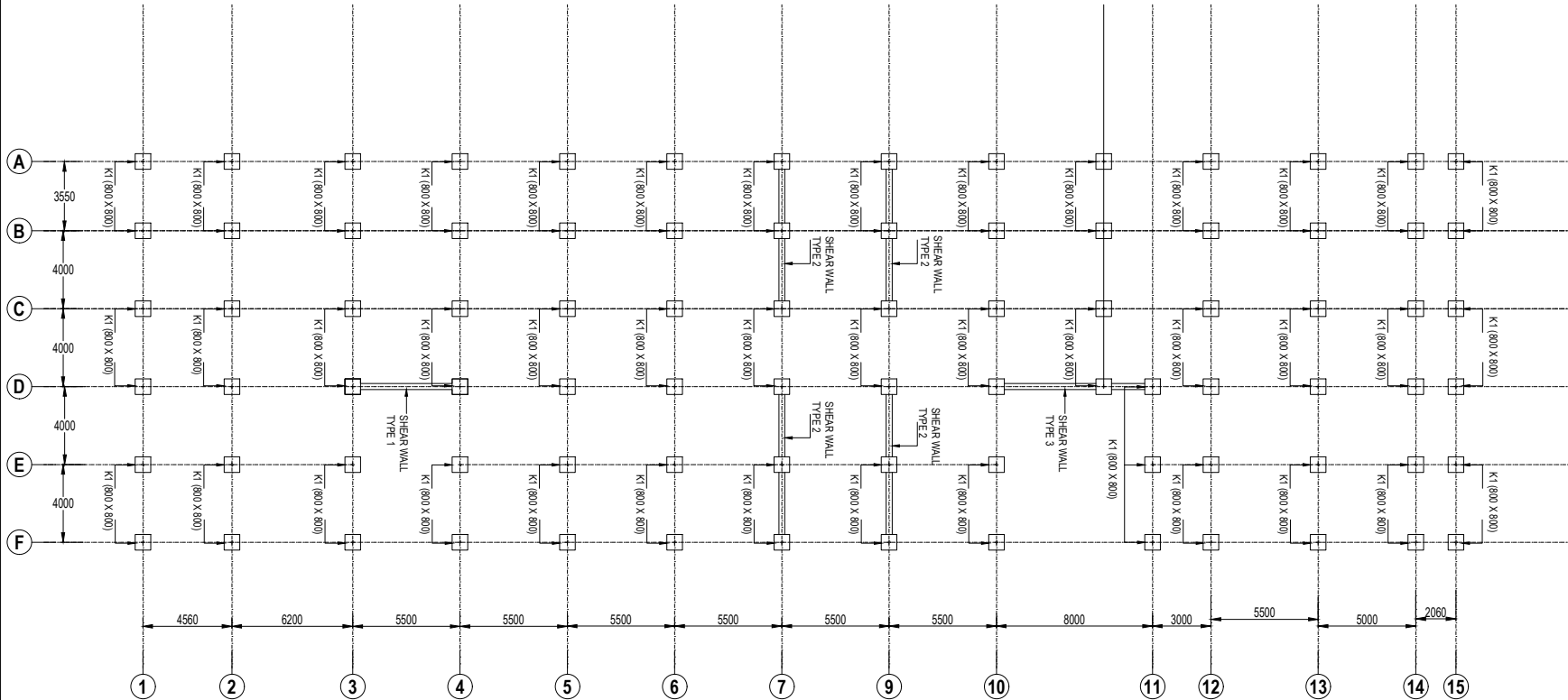


DENAH RENCANA KOLOM K4
SKALA : 1:150





DENAH RENCANA KOLOM K2
SKALA : 1:150

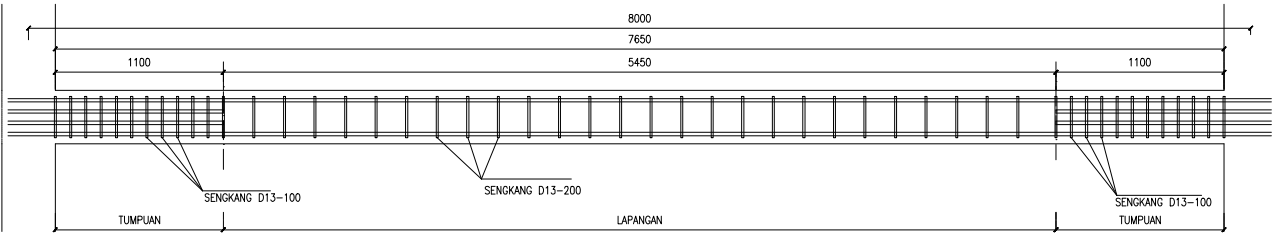


DENAH RENCANA KOLOM K1

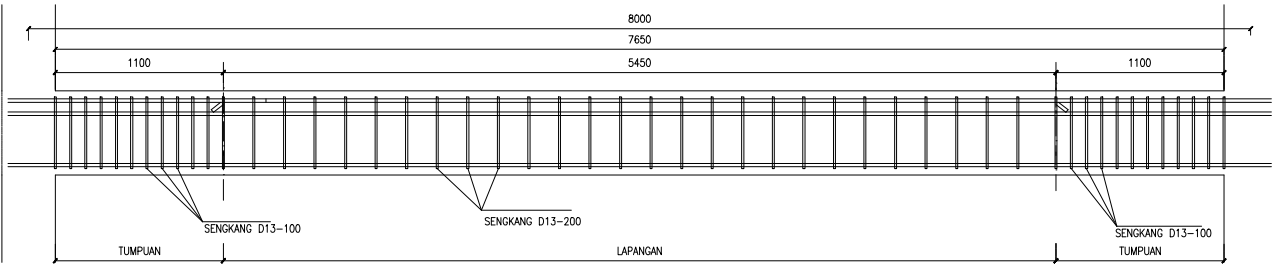
SKALA : 1:150

TYPE	BALOK		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
LAPIS A LAPIS B LAPIS C			
TULANGAN ATAS	4 D22	2 D22	4 D22
TULANGAN TENGAH	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	D13-100	D13-200	D13-200

DETAIL SCHEDULE PENULANGAN BALOK 9



SAMPAT ATAS DETAIL PENULANGAN BALOK 9



SAMPAT SAMPIG DETAIL PENULANGAN BALOK 9



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

Potongan balok

Nomor Gambar

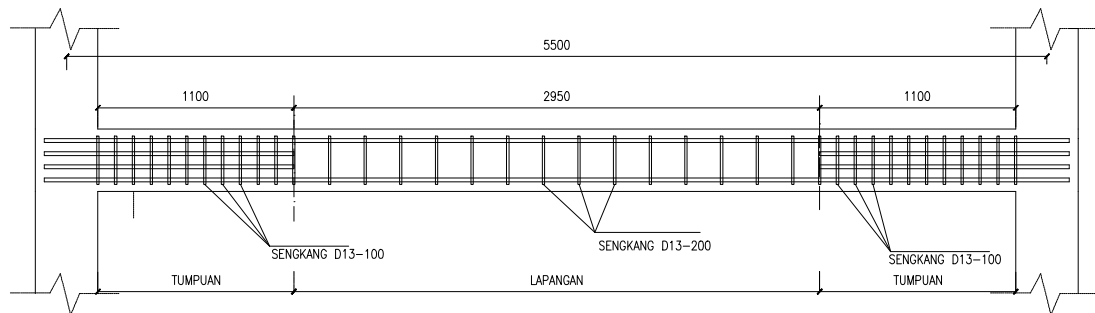
8

Jumlah Gambar

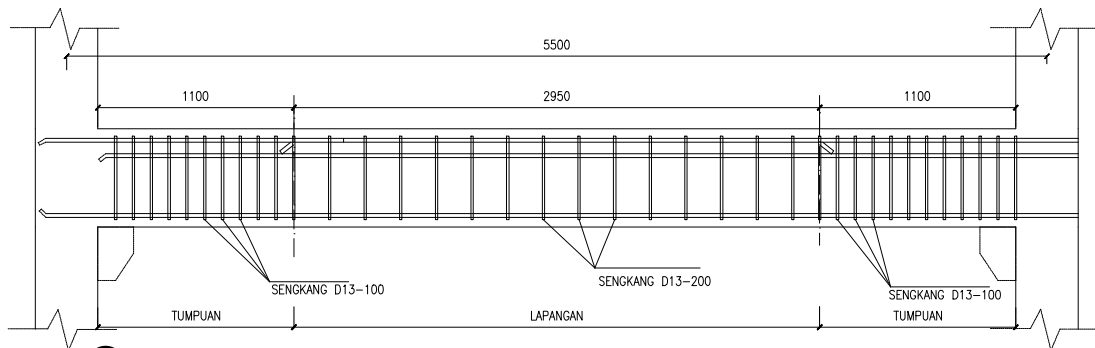
40

TYPE	BALOK		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
	350	350	350
LAPIS A ←	140	140	140
LAPIS B ←	550	550	550
LAPIS C ←	410	410	410
TULANGAN ATAS	4 D22	2 D22	4 D22
TULANGAN TENGAH	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	D13-100	D13-200	D13-200

DETAIL SCHEDULE PENULANGAN BALOK 1



AMPAT ATAS DETAIL PENULANGAN BALOK 1



AMPAT SAMPING DETAIL PENULANGAN BALOK 1

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

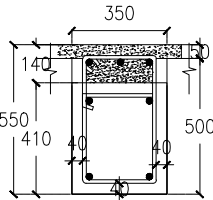
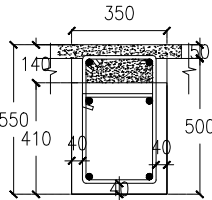
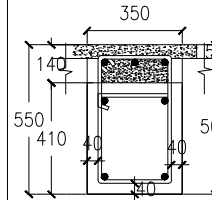
Potongan balok

Nomor Gambar

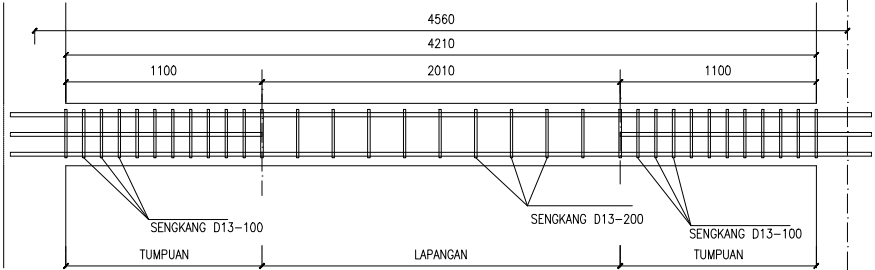
Jumlah Gambar

9

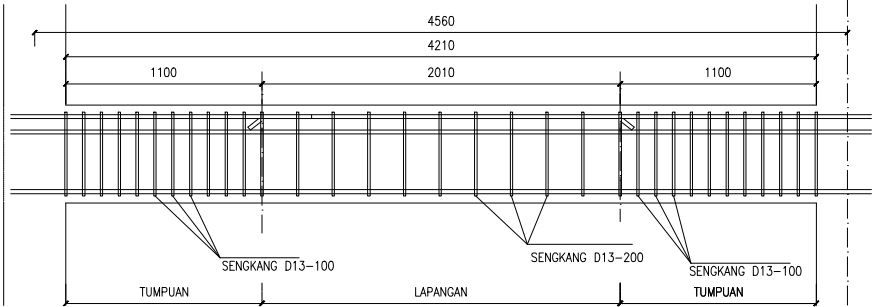
40

TYPE	BALOK		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
<div> <div> <div>350</div> <div>140</div> <div>550</div> <div>410</div> <div>40</div> <div>500</div> </div> <div> <div>LAPIS A ←</div> <div>LAPIS B ←</div> <div>LAPIS C ←</div> </div> </div>			
TULANGAN ATAS	3 D22	2 D22	3 D22
TULANGAN TENGAH	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	D13-100	D13-200	D13-200

 **DETAIL SCHEDULE PENULANGAN BALOK 2**



 **SAMPAK ATAS DETAIL PENULANGAN BALOK 2**



 **SAMPAK SAMPIING DETAIL PENULANGAN BALOK 2**



Jurusan Teknik Sipil
Falkultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

Potongan balok

Nomor Gambar

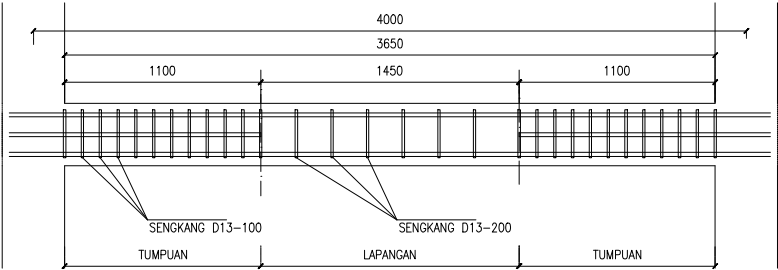
Jumlah Gambar

10

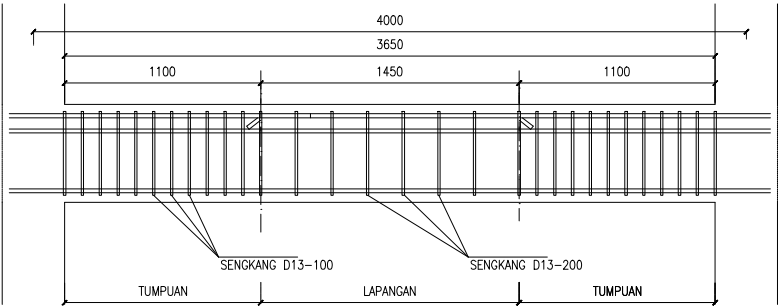
40

TYPE	BALOK		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
<div><p>LAPIS A ←</p><p>LAPIS B ←</p><p>LAPIS C ←</p></div>	<div><p>350</p><p>140</p><p>550</p><p>410</p><p>40</p><p>40</p><p>40</p><p>40</p><p>500</p></div>	<div><p>350</p><p>140</p><p>550</p><p>410</p><p>40</p><p>40</p><p>40</p><p>40</p><p>500</p></div>	<div><p>350</p><p>140</p><p>550</p><p>410</p><p>40</p><p>40</p><p>40</p><p>40</p><p>500</p></div>
TULANGAN ATAS	3 D22	2 D22	3 D22
TULANGAN TENGAH	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	D13-100	D13-200	D13-200

DETAIL SCHEDULE PENULANGAN BALOK 3



SAMPAP ATAS DETAIL PENULANGAN BALOK 3



SAMPAP SAMPING DETAIL PENULANGAN BALOK 3



Jurusan Teknik Sipil
Falkultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh November

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

Potongan balok

Nomor Gambar

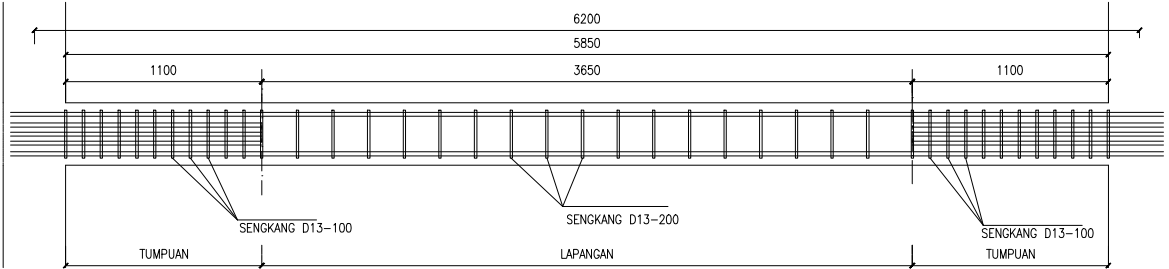
11

Jumlah Gambar

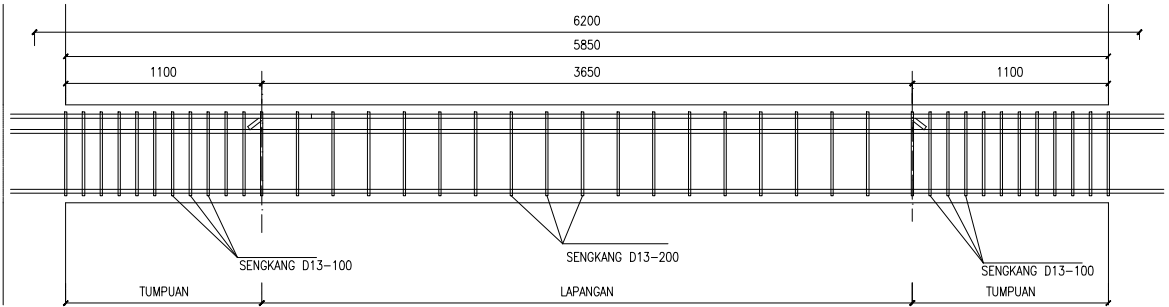
40

TYPE	BALOK		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
<div> <div>LAPIS A ←</div> <div>LAPIS B ←</div> <div>LAPIS C ←</div> </div>			
TULANGAN ATAS	5 D22	2 D22	5 D22
TULANGAN TENGAH	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	D13-100	D13-200	D13-200

DETAIL SCHEDULE PENULANGAN BALOK 4



SAMPAK ATAS DETAIL PENULANGAN BALOK 4



SAMPAK SAMPIING DETAIL PENULANGAN BALOK 4



Jurusan Teknik Sipil
Falkultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Noverber

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

Potongan balok

Nomor Gambar

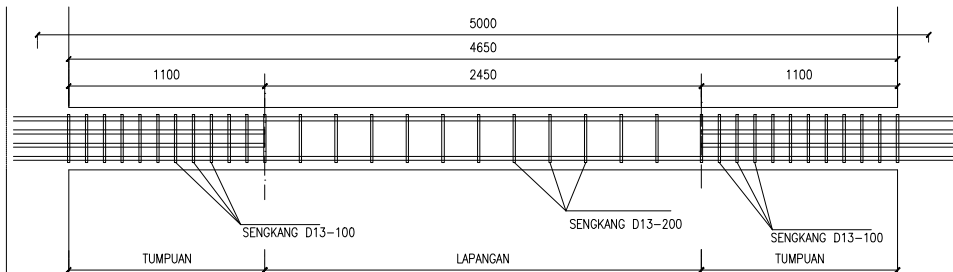
Jumlah Gambar

12

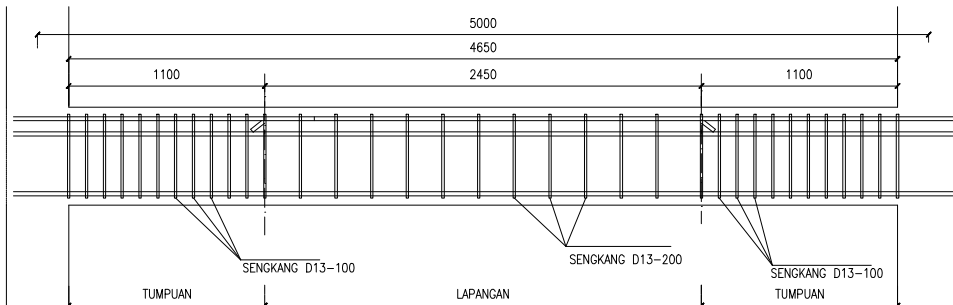
40

TYPE	BALOK		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
<div> <div>LAPIS A ←</div> <div>LAPIS B ←</div> <div>LAPIS C ←</div> </div>			
TULANGAN ATAS	4 D22	2 D22	4 D22
TULANGAN TENGAH	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	D13-100	D13-200	D13-200

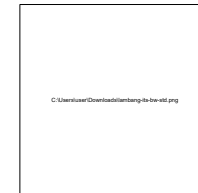
 **DETAIL SCHEDULE PENULANGAN BALOK 5**
SKALA : 1:20



 **LAMPAK ATAS DETAIL PENULANGAN BALOK 5**
SKALA : 1:20



 **LAMPAK SAMPIING DETAIL PENULANGAN BALOK 5**
SKALA : 1:20



Jurusan Teknik Sipil
Falkultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

Potongan balok

Nomor Gambar

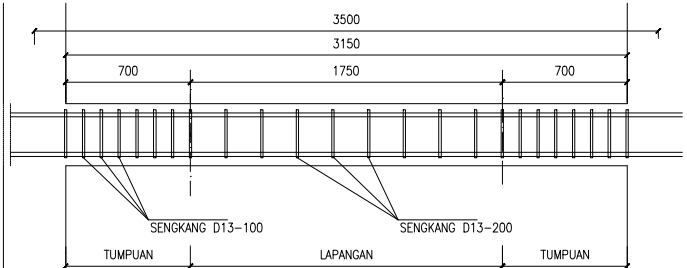
Jumlah Gambar

13

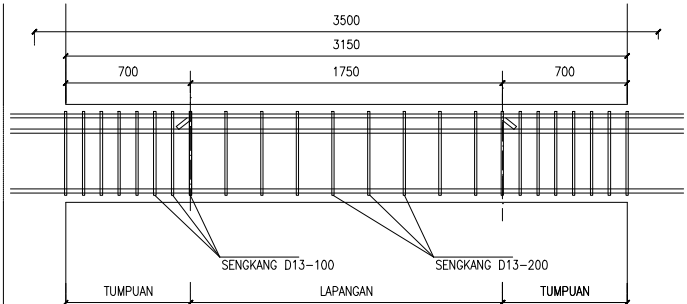
40

TYPE	BALOK		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
<div> <div>LAPIS A</div> <div>LAPIS B</div> <div>LAPIS C</div> </div>			
	TULANGAN ATAS	2 D22	3 D22
	TULANGAN TENGAH	2 D22	2 D22
	TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22
	SENGKANG	D13-100	D13-200

DETAIL SCHEDULE PENULANGAN BALOK 6



SAMPANG ATAS DETAIL PENULANGAN BALOK 6



SAMPANG SAMPING DETAIL PENULANGAN BALOK 7



Jurusan Teknik Sipil
Falkultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

Potongan balok

Nomor Gambar

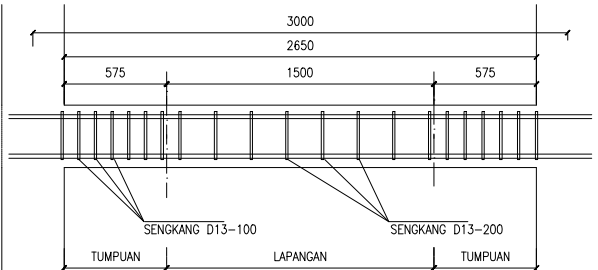
14

Jumlah Gambar

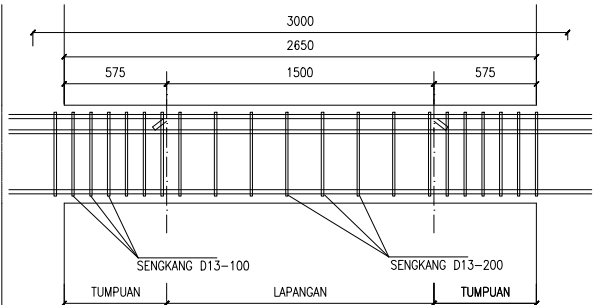
40

TYPE	BALOK		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
LAPIS A LAPIS B LAPIS C			
TULANGAN ATAS	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN TENGAH	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	D13-100	D13-200	D13-200

 **DETAIL SCHEDULE PENULANGAN BALOK 7**
DSCA-100



 **SAMPAK ATAS DETAIL PENULANGAN BALOK 7**
DSCA-100



 **SAMPAK SAMPIING DETAIL PENULANGAN BALOK 7**
DSCA-100



Jurusan Teknik Sipil
Falkultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

Potongan balok

Nomor Gambar

15

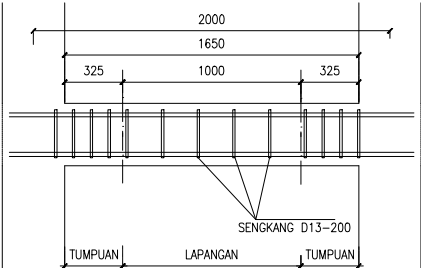
Jumlah Gambar

40

TYPE	BALOK		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
<div> <div>LAPIS A ←</div> <div>LAPIS B ←</div> <div>LAPIS C ←</div> </div>			
TULANGAN ATAS	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN TENGAH	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	D13-100	D13-200	D13-200

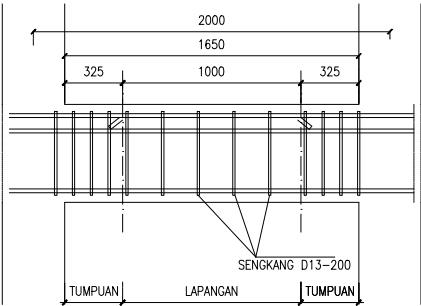
DETAIL SCHEDULE PENULANGAN BALOK 8

SKALA : 1:20



AMPAP ATAS DETAIL PENULANGAN BALOK 8

SKALA : 1:20



AMPAP SAMPING DETAIL PENULANGAN BALOK 8

SKALA : 1:20



Jurusan Teknik Sipil
Falkultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh November

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

Potongan balok

Nomor Gambar

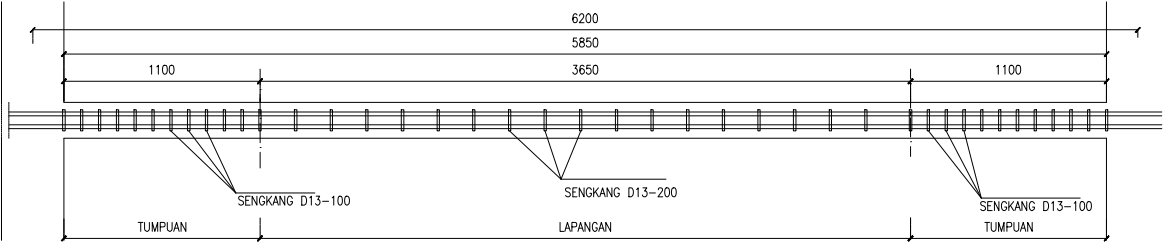
16

Jumlah Gambar

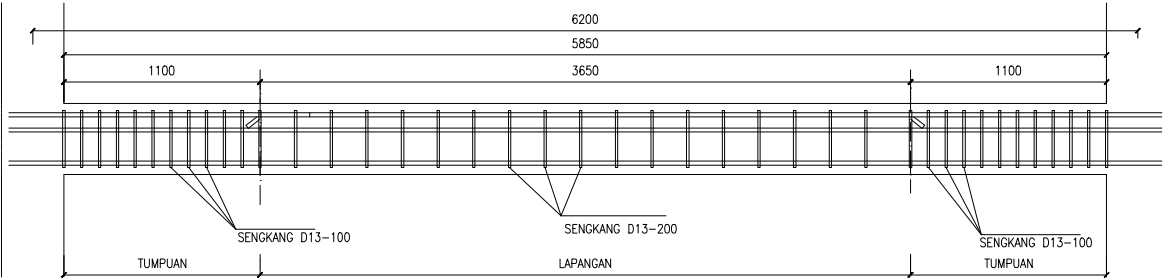
40

TYPE	BALOK		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
LAPIS A LAPIS B LAPIS C			
TULANGAN ATAS	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN TENGAH	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	D13-100	D13-200	D13-200

DETAIL SCHEDULE PENULANGAN BALOK BL A.1



SAMPAP ATAS DETAIL PENULANGAN BALOK BL A.1



SAMPAP SAMPIG DETAIL PENULANGAN BALOK BL A.1



Jurusan Teknik Sipil
Falkultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

Nomor Gambar

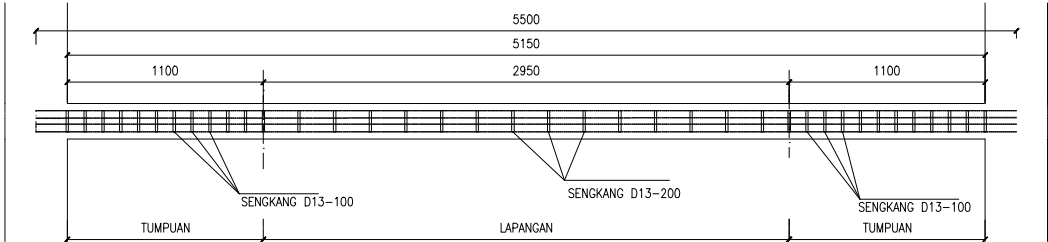
17

Jumlah Gambar

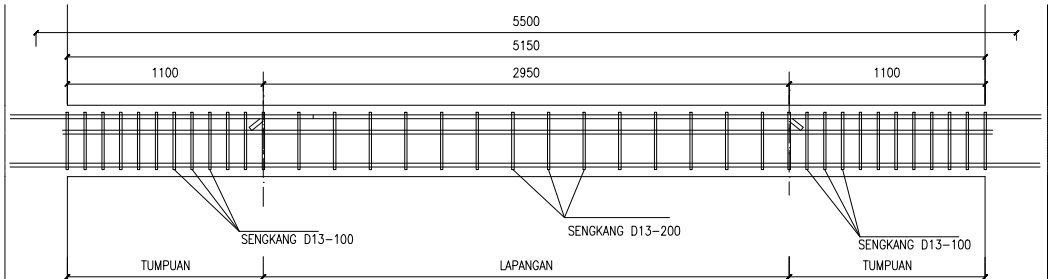
40

TYPE	BALOK		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
<div></div>	<div></div>	<div></div>	
TULANGAN ATAS	2 D16	4 D16	2 D16
TULANGAN TENGAH	2 D16	4 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	2 D16	4 D16	2 D16
SENGKANG	D13-100	D13-200	D13-200

DETAIL SCHEDULE PENULANGAN BALOK BL A.2



SAMPAP ATAS DETAIL PENULANGAN BALOK BL A.2



SAMPAP SAMPING DETAIL PENULANGAN BALOK BL A.2



Jurusan Teknik Sipil
Falkultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh November

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

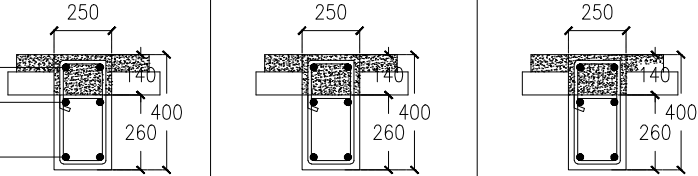
Potongan balok

Nomor Gambar

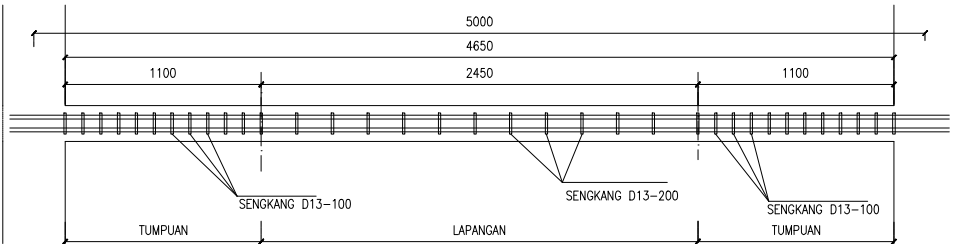
18

Jumlah Gambar

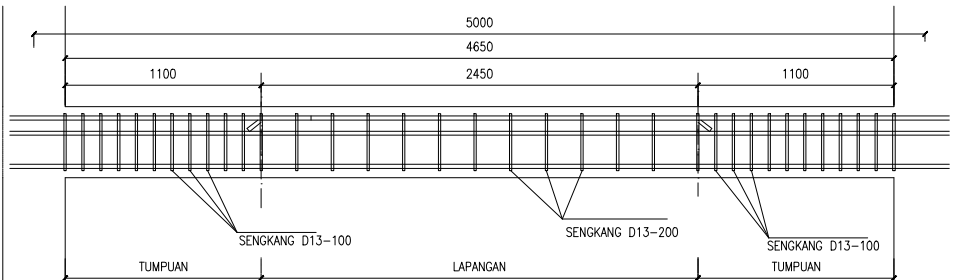
40

TYPE	BALOK		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
<div> <div>LAPIS A</div> <div>LAPIS B</div> <div>LAPIS C</div> </div> 			
TULANGAN ATAS	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN TENGAH	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	D13-100	D13-200	D13-200

DETAIL SCHEDULE PENULANGAN BALOK BL A.3



SAMPAK ATAS DETAIL PENULANGAN BALOK BL A.3



SAMPAK SAMPING DETAIL PENULANGAN BALOK BL A.3



Jurusan Teknik Sipil
Falkultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Noverber

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

Potongan balok

Nomor Gambar

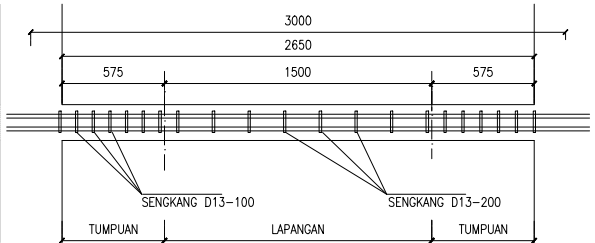
19

Jumlah Gambar

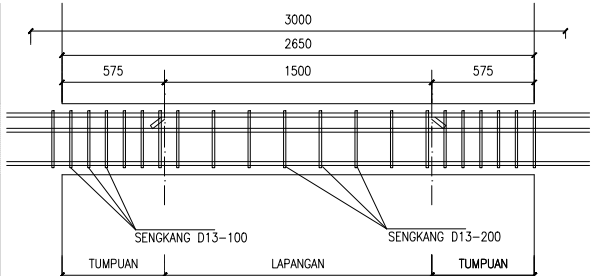
40

TYPE	BALOK		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
<div></div>	<div></div>	<div></div>	
TULANGAN ATAS	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN TENGAH	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	D13-100	D13-200	D13-200

DETAIL SCHEDULE PENULANGAN BALOK BL A.4



SAMPAK ATAS DETAIL PENULANGAN BALOK BL A.4



SAMPAK SAMPING DETAIL PENULANGAN BALOK BL A.4



Jurusan Teknik Sipil
Falkultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

Potongan balok

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

20

40



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Noverber

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

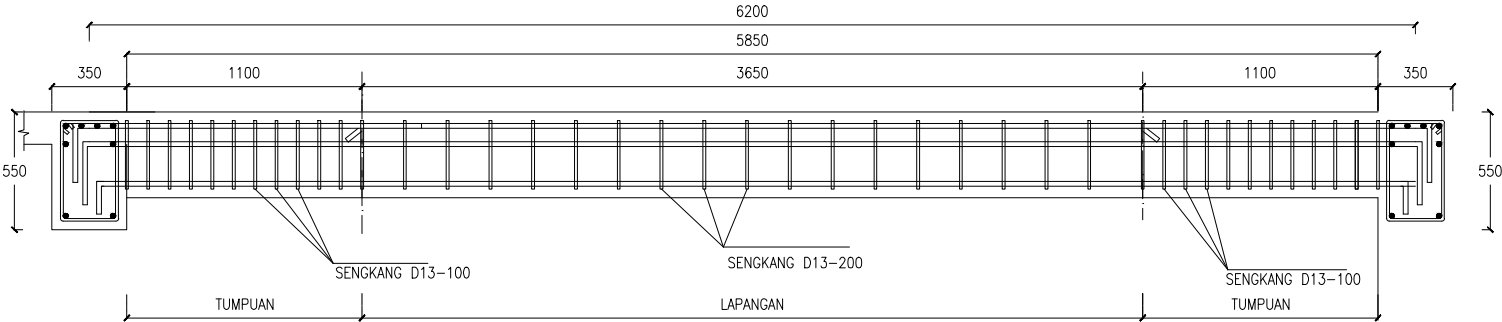
Detail Sambungan

Nomor Gambar

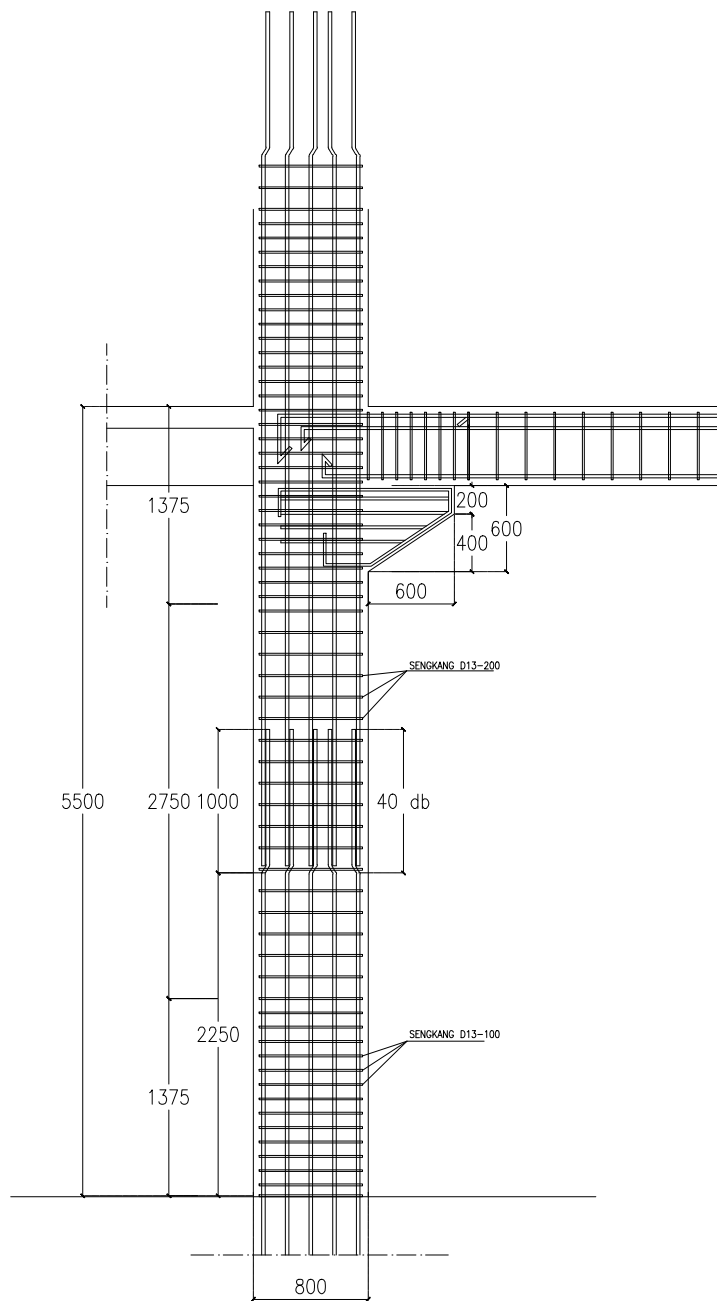
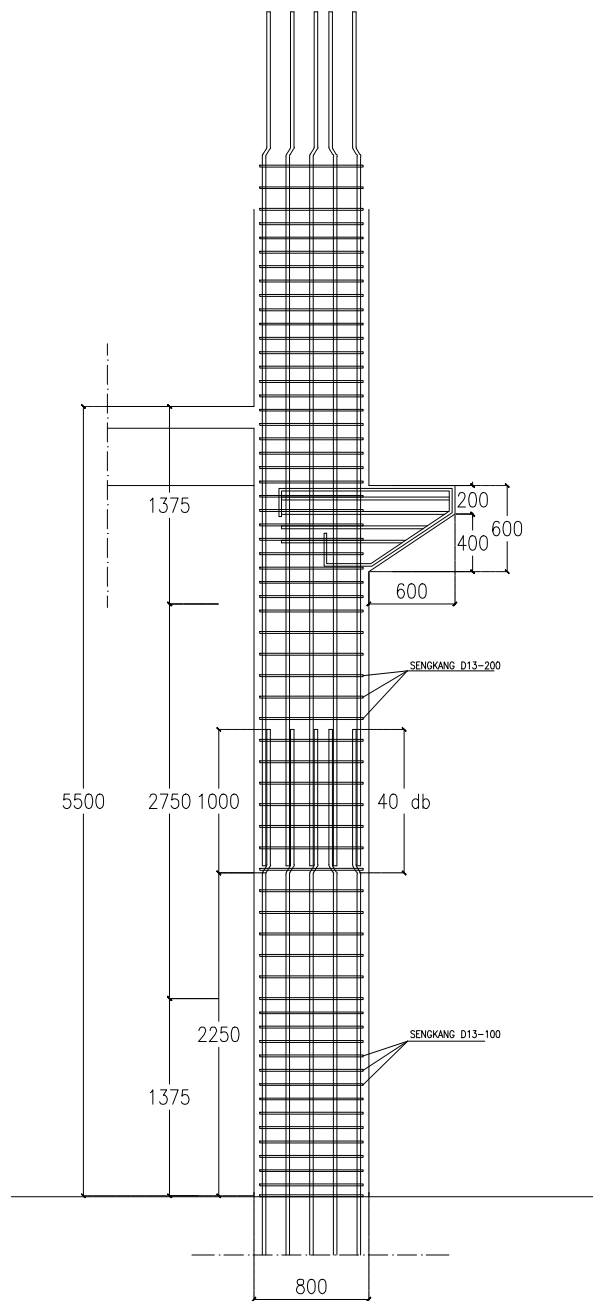
21

Jumlah Gambar

40

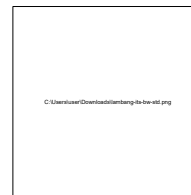


DETAIL SAMBUNGAN BALOK UTAMA DAN BALOK ANAK



DETAIL SAMBUNGAN KOLOM BALOK

SKALA : 1:30



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

Detail Sambungan

Nomor Gambar

22

Jumlah Gambar

40



Jurusan Teknik Sipil
Falkultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh November

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

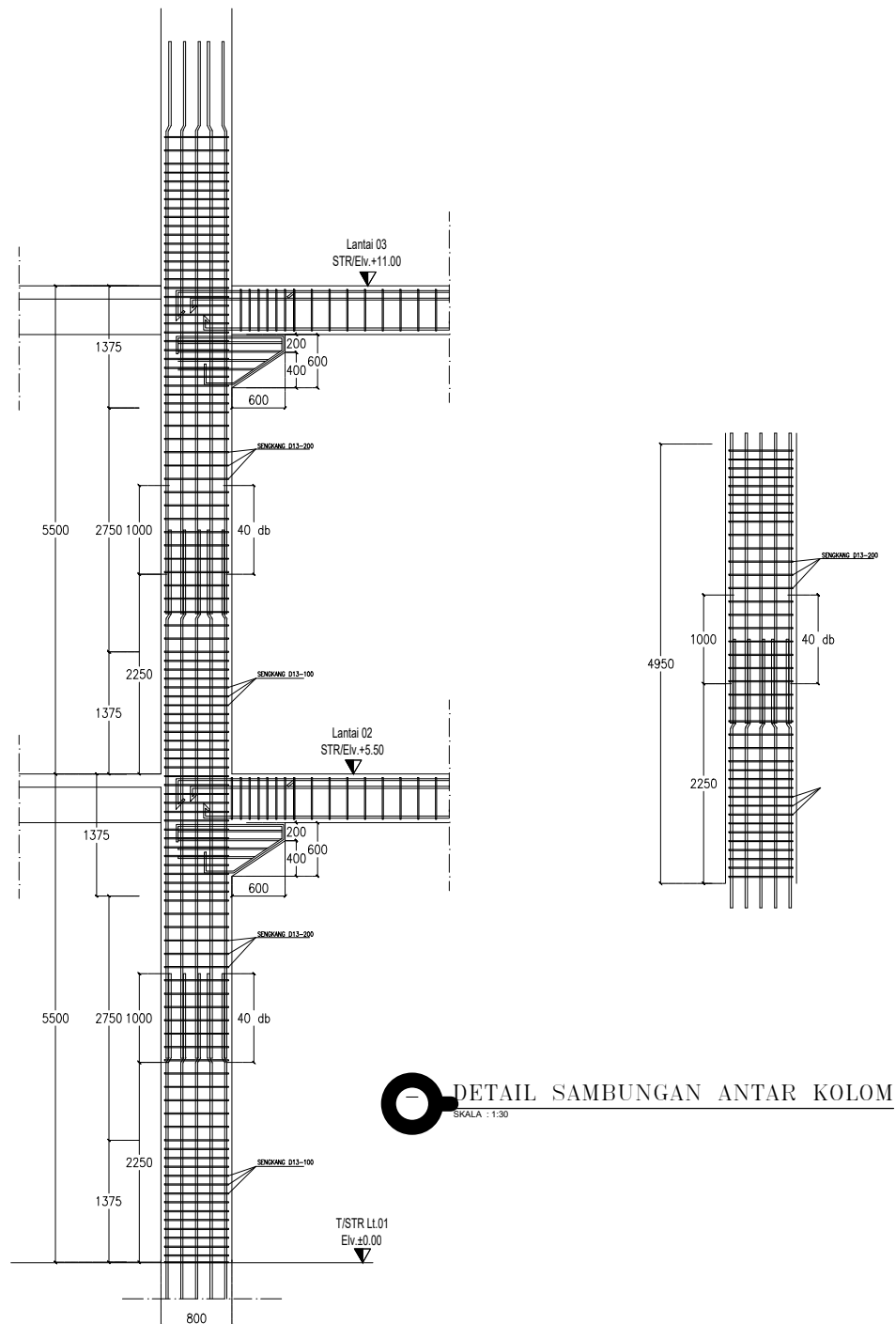
Detail Sambungan

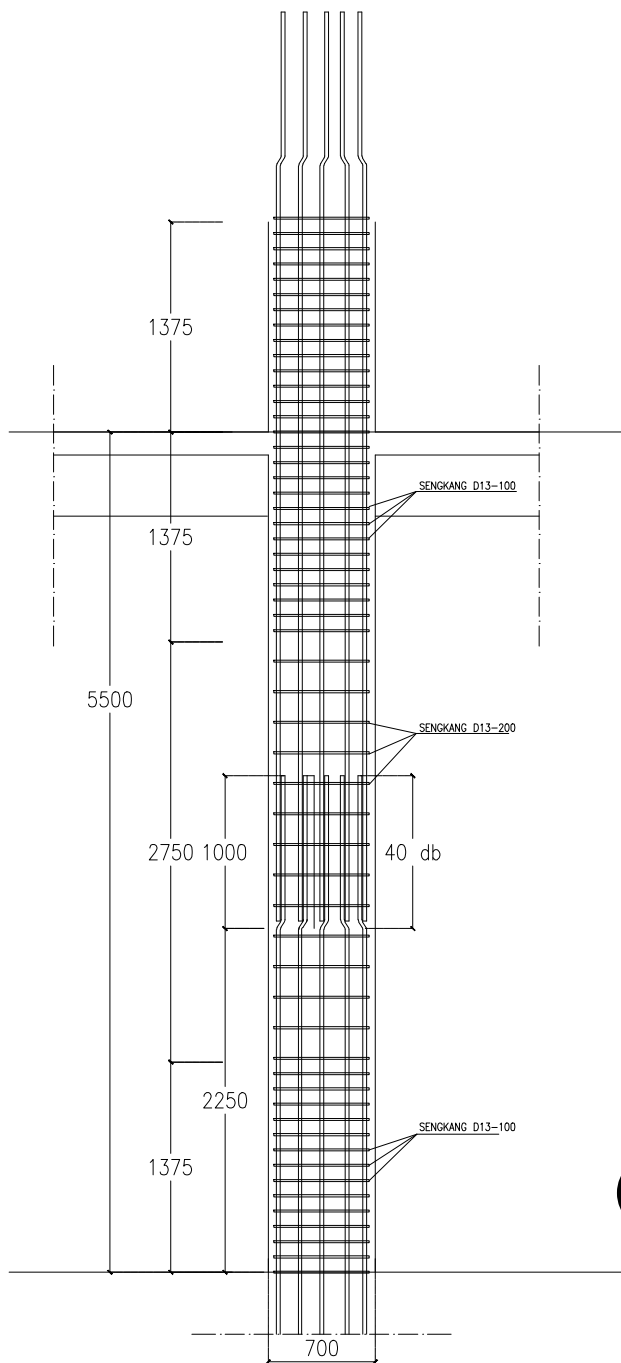
Nomor Gambar

Jumlah Gambar

23

40



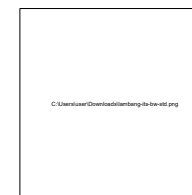


TYPE	KOLOM K1		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
TULANGAN 16D25			
SENGKANG D13-200			
DIMENSI PENAMPANG	700 MM X 700 MM	700 MM X 700 MM	700 MM X 700 MM
TULANGAN ATAS	16 D25	16 D25	16 D25
SENGKANG	D13-100	D13-200	D13-100



DETAIL PENULANGAN KOLOM K2

SKALA : 1:30



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

Potongan kolom

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

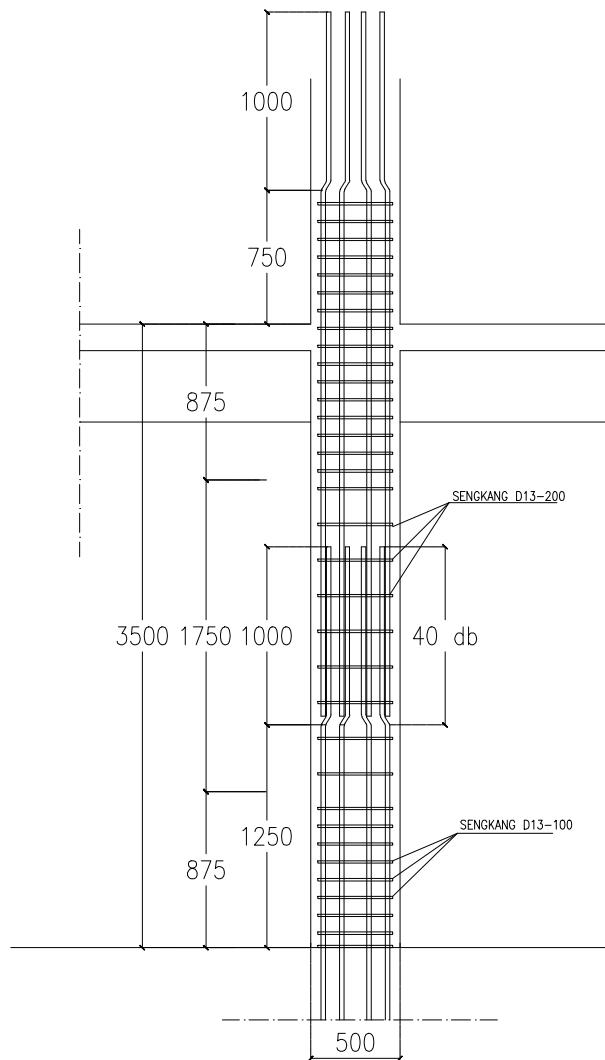
25

40



SKALA : 1:30

40



DETAIL PENULANGAN KOLOM K4

SKALA : 1:30

TYPE	KOLOM K1		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
TULANGAN 12D25 SENGKANG D13-200			
DIMENSI PENAMPANG	500 MM X 500 MM	500 MM X 500 MM	500 MM X 500 MM
TULANGAN ATAS	12 D25	12 D25	12 D25
SENGKANG	D13-100	D13-200	D13-100

C:\Users\User\Downloads\gambar\kolom-k4-draw.png

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

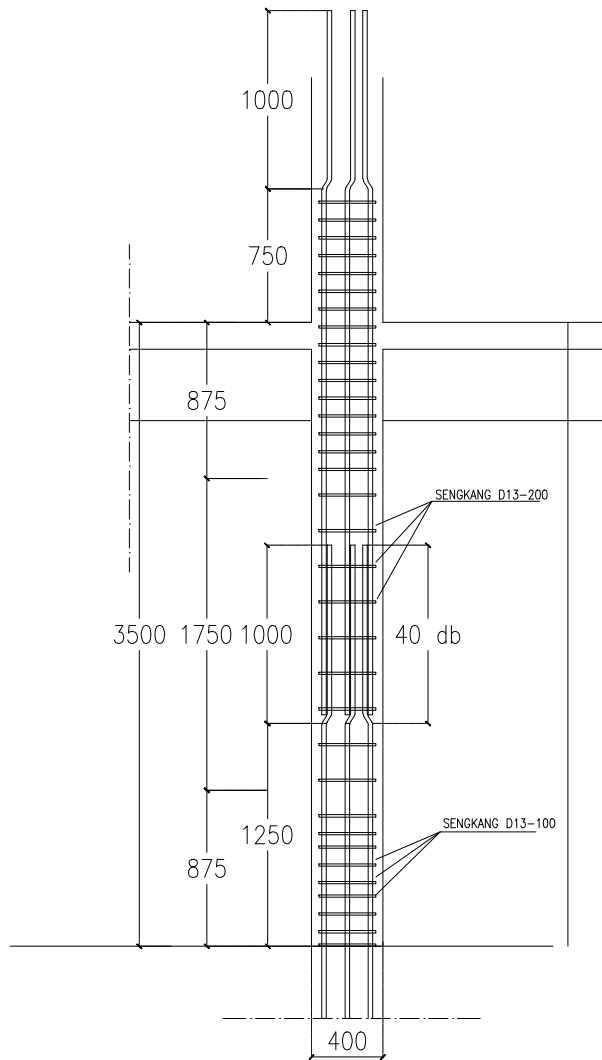
Potongan kolom

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

27

40



TYPE	KOLOM K1		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
TULANGAN 9D25 SENGKANG D13-200			
DIMENSI PENAMPANG	400 MM X 400 MM	400 MM X 400 MM	400 MM X 400 MM
TULANGAN ATAS	4 D25	4 D25	4 D25
SENGKANG	D13-100	D13-200	D13-100

DETAIL PENULANGAN KOLOM K5
SKALA : 1:30



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

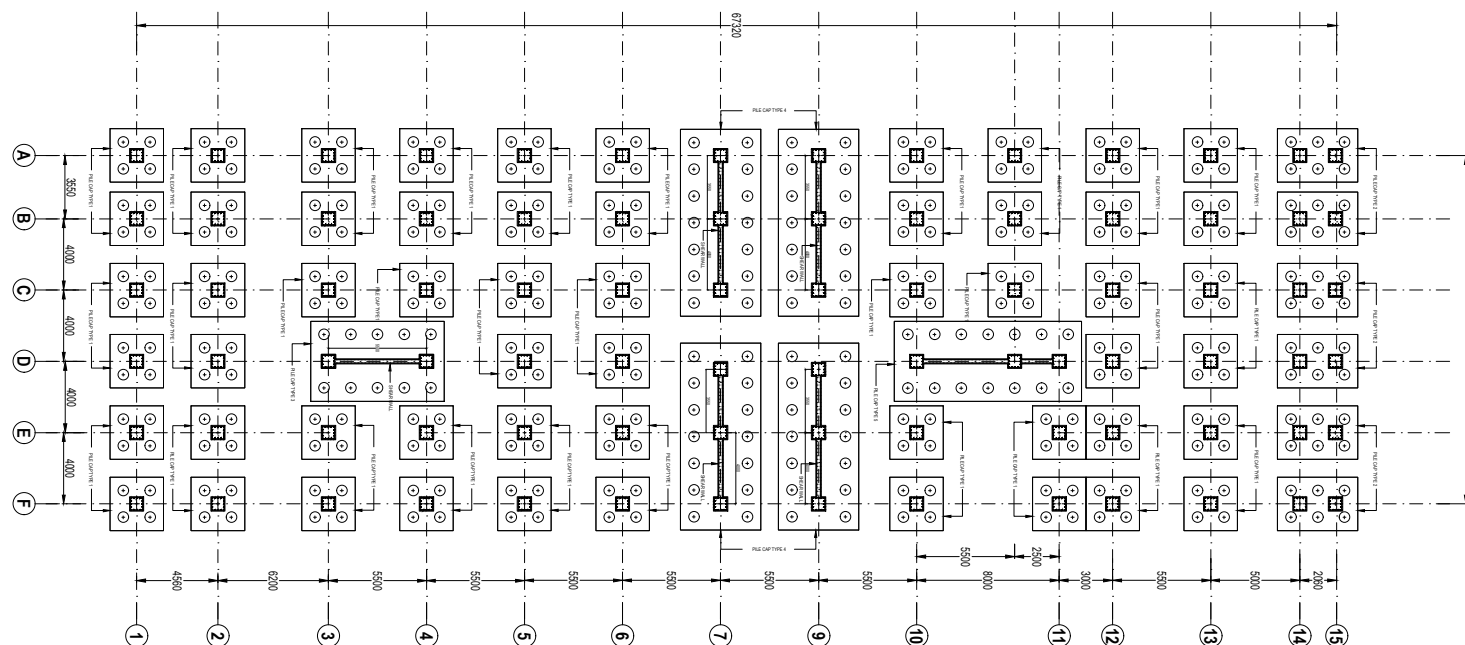
Potongan kolom

Nomor Gambar

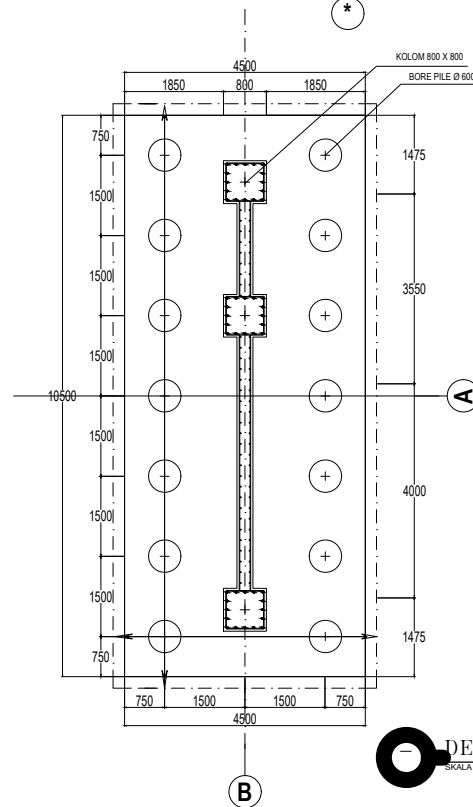
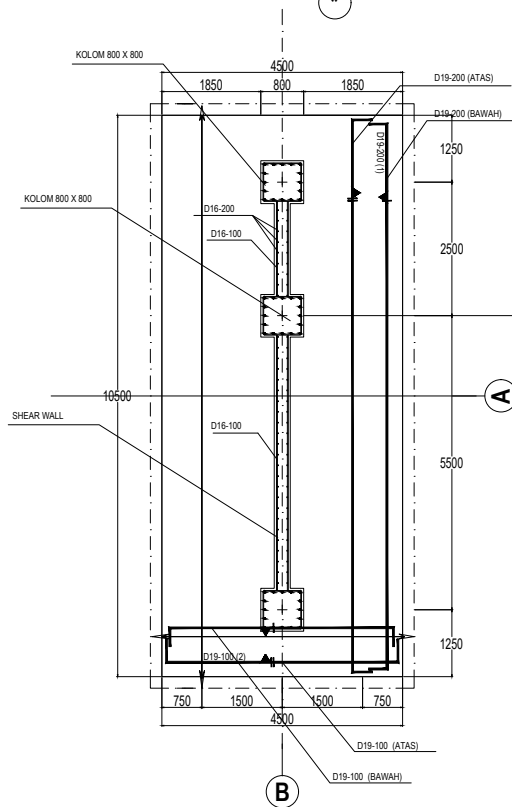
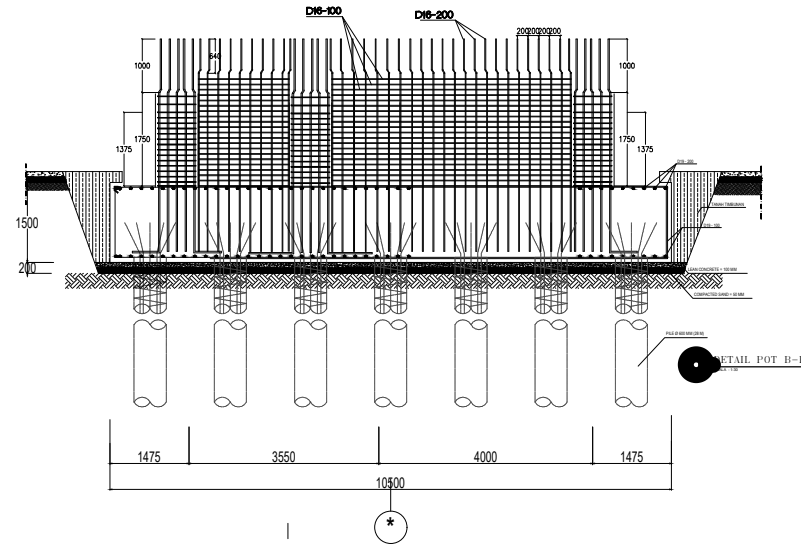
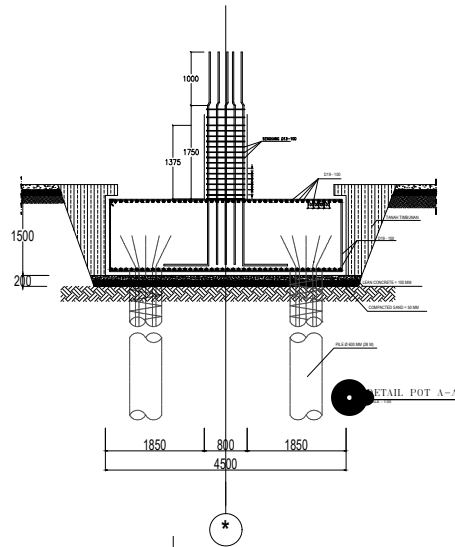
Jumlah Gambar

28

40



DENAH RENCANA PILE CAP
SKALA : 1:150



DETAIL PILE CAP TYPE 5
SKALA : 1:30

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Noverber

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

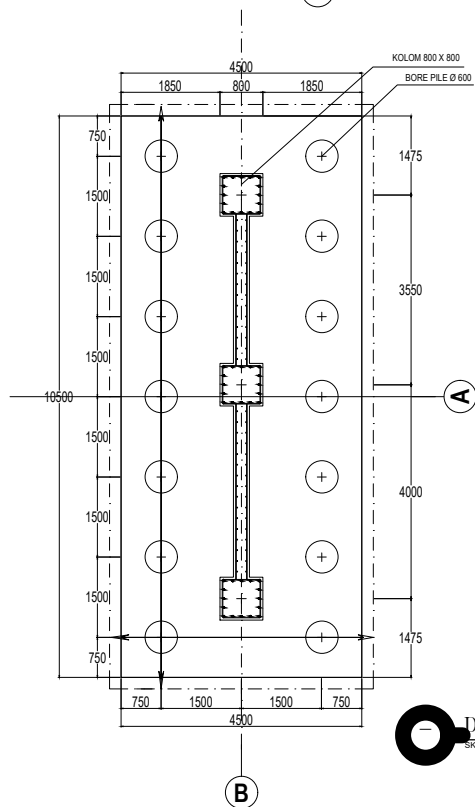
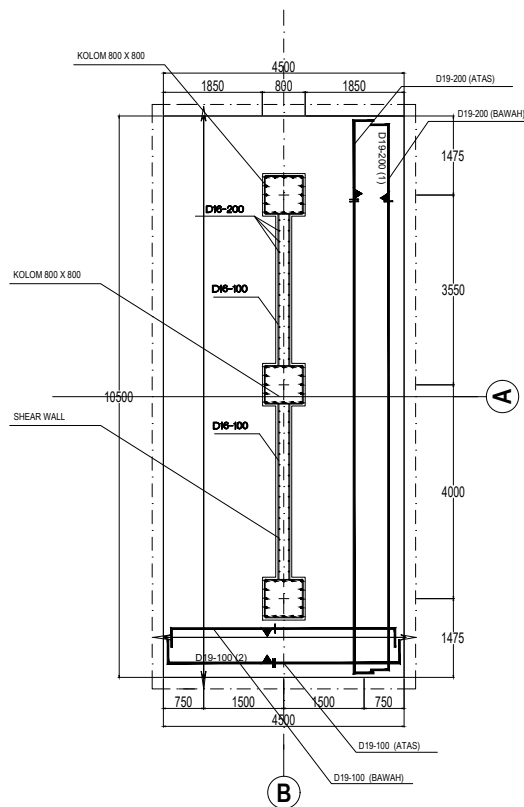
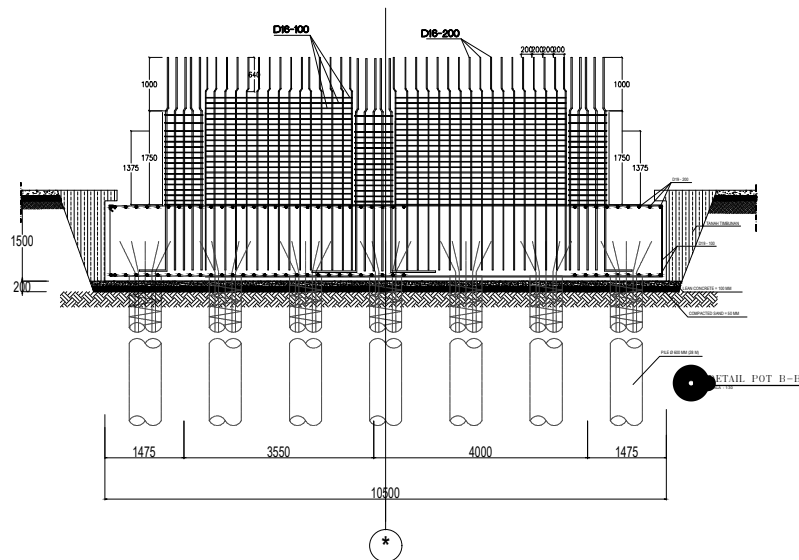
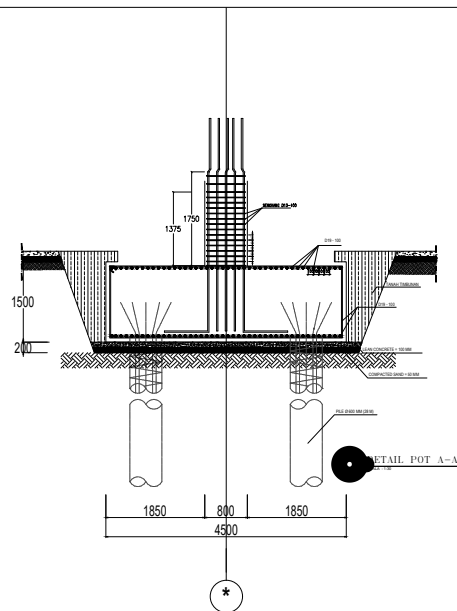
pile cap

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

30

40



DETAIL PILE CAP TYPE 4
SKALA : 1:30

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Noverber

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

pile cap

Nomor Gambar

31

Jumlah Gambar

40



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

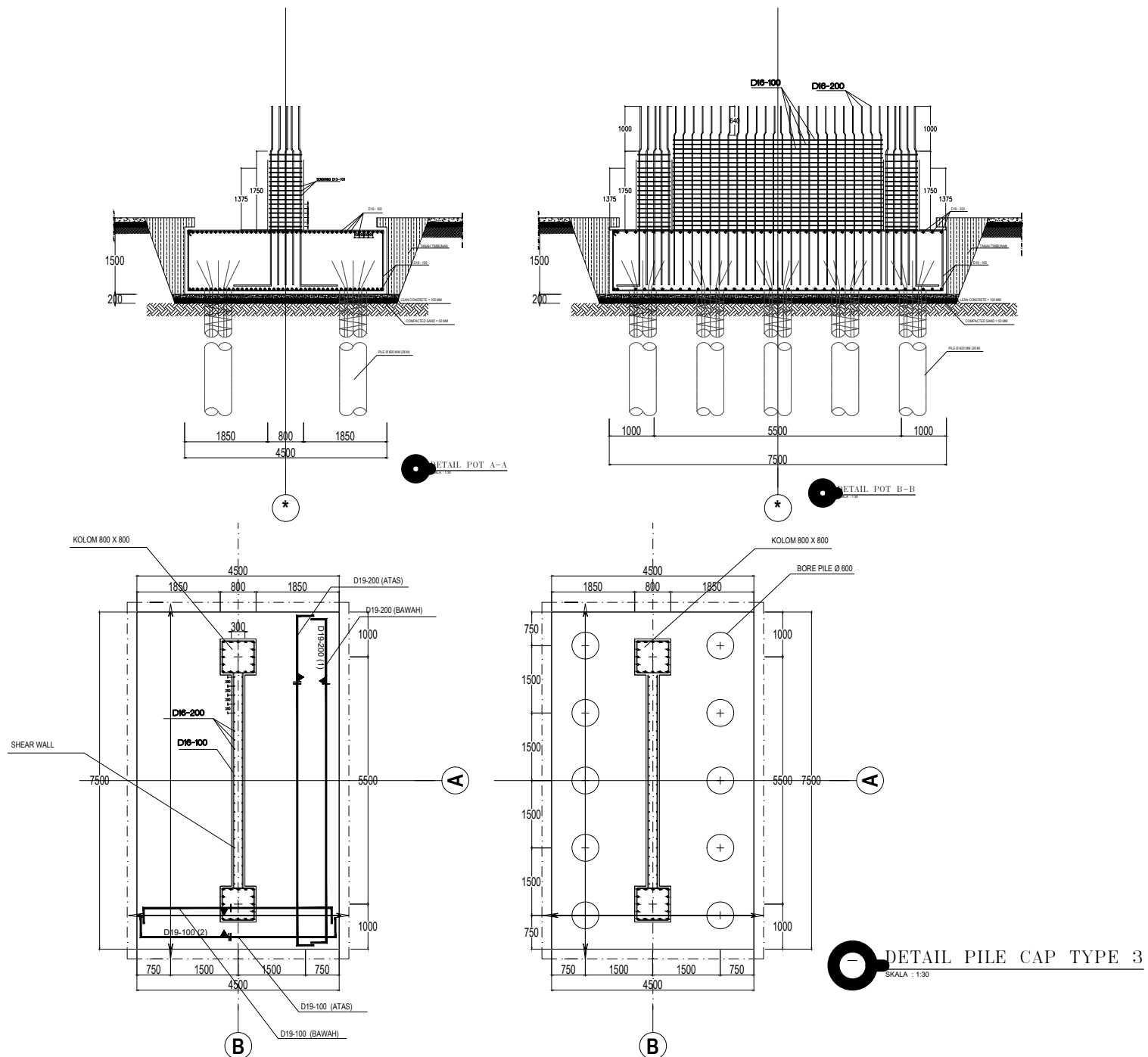
pile cap

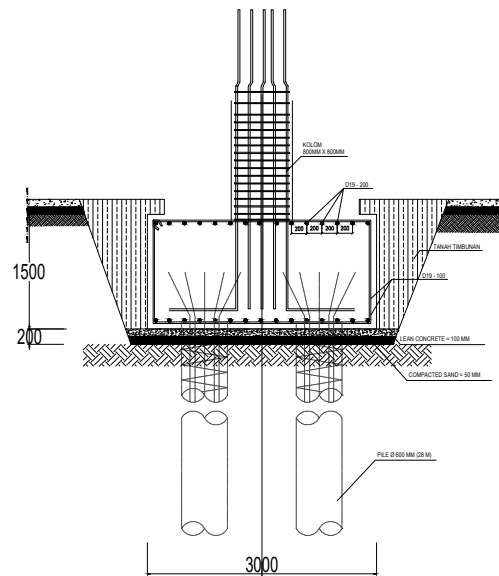
Nomor Gambar

32

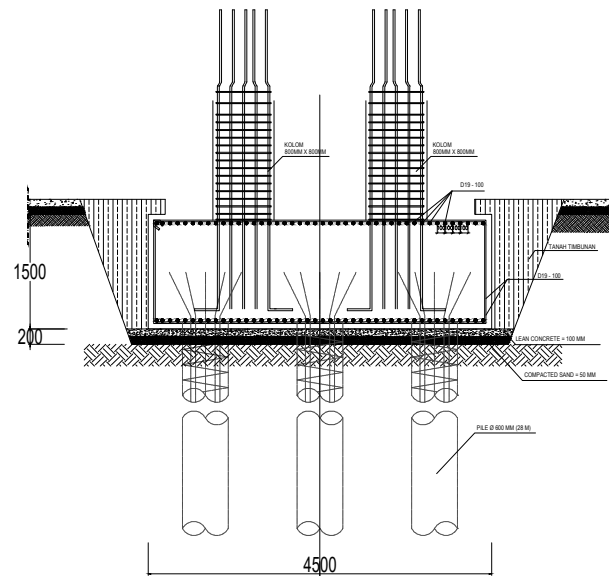
Jumlah Gambar

40

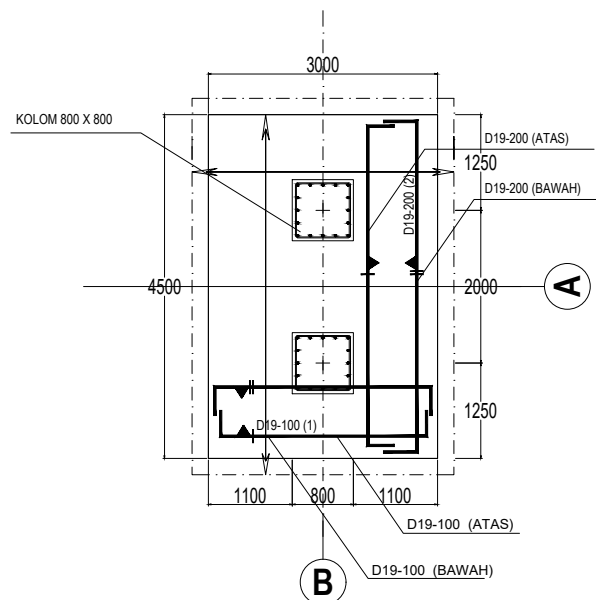




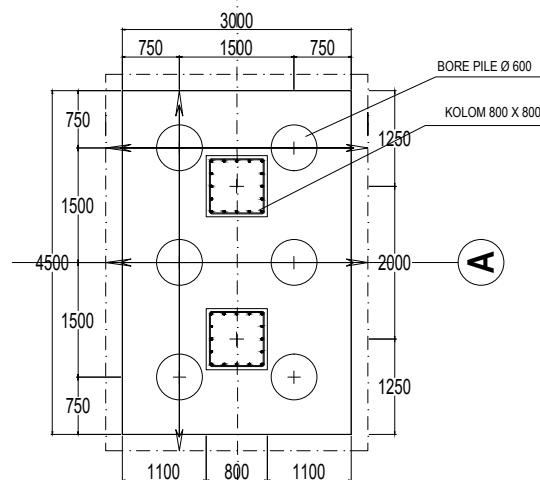
DETAIL POT A-A
SKALA : 1:50



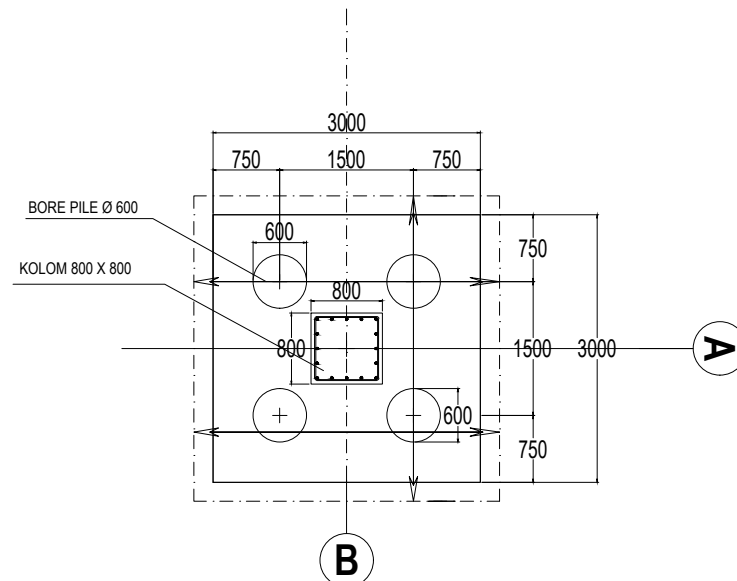
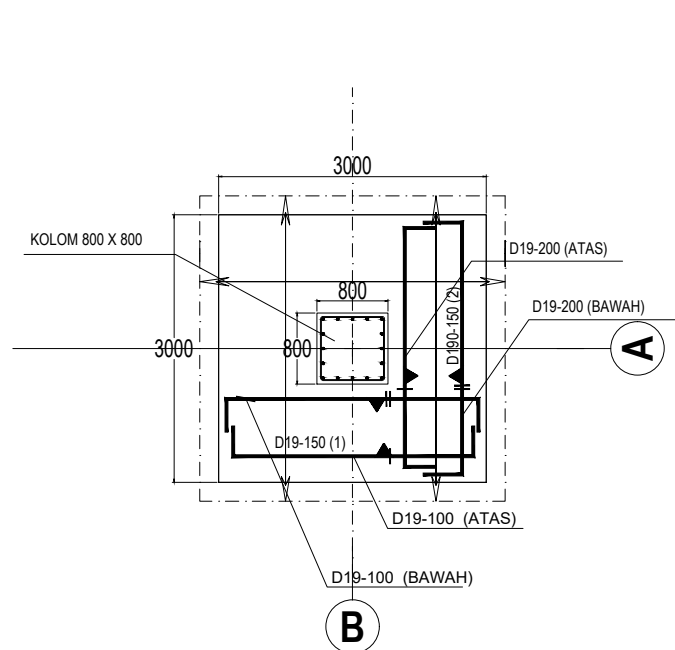
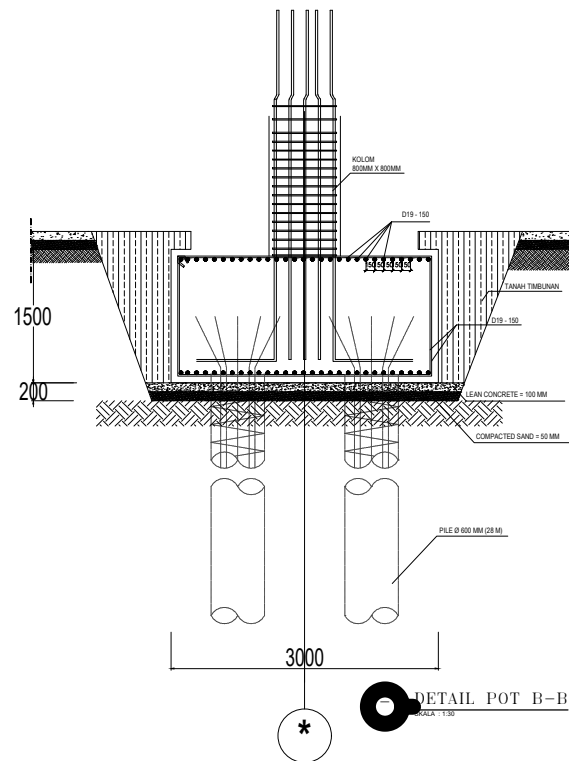
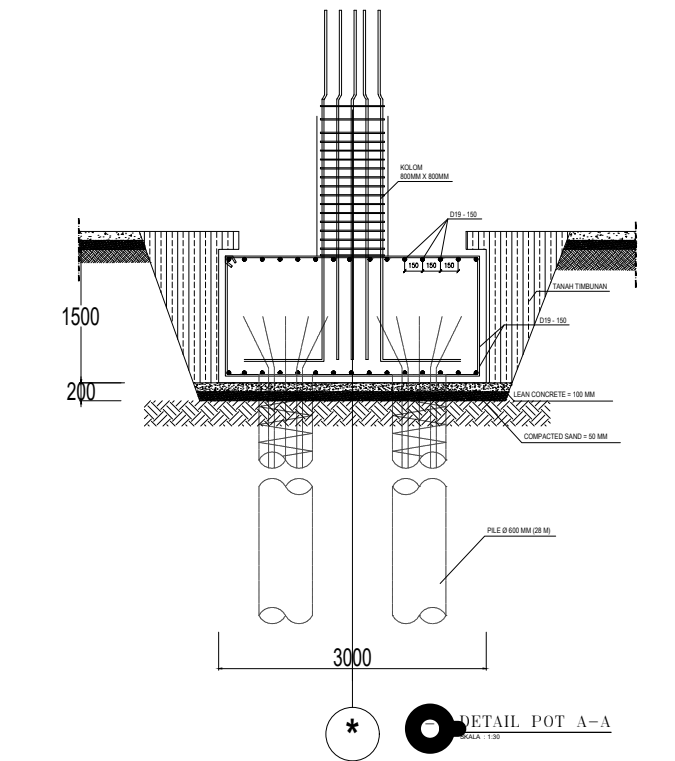
DETAIL POT B-B
SKALA : 1:50



DETAIL PILE CAP TYPE 2
SKALA : 1:30



DETAIL PILE CAP TYPE 2
SKALA : 1:30



DETAIL PILE CAP TYPE 1
SKALA : 1:30

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Noverber

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

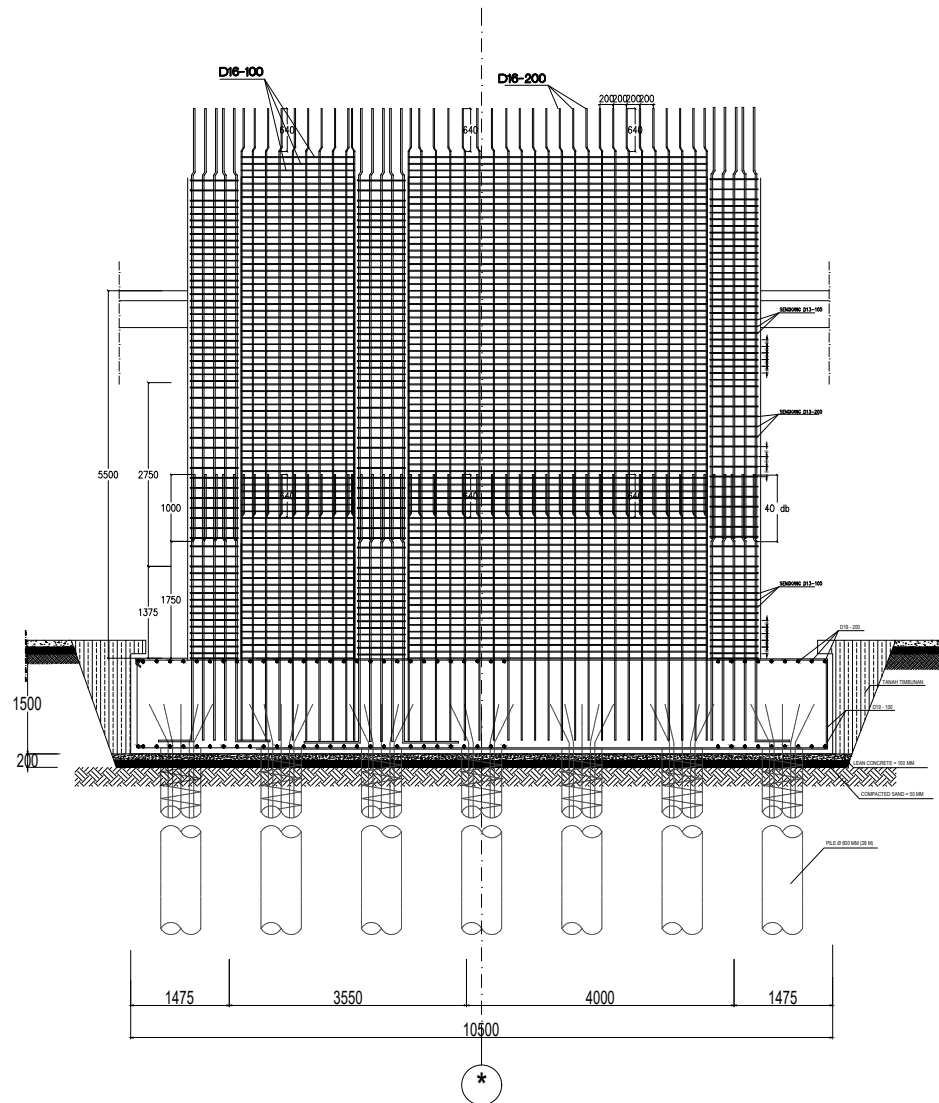
pile cap

Nomor Gambar

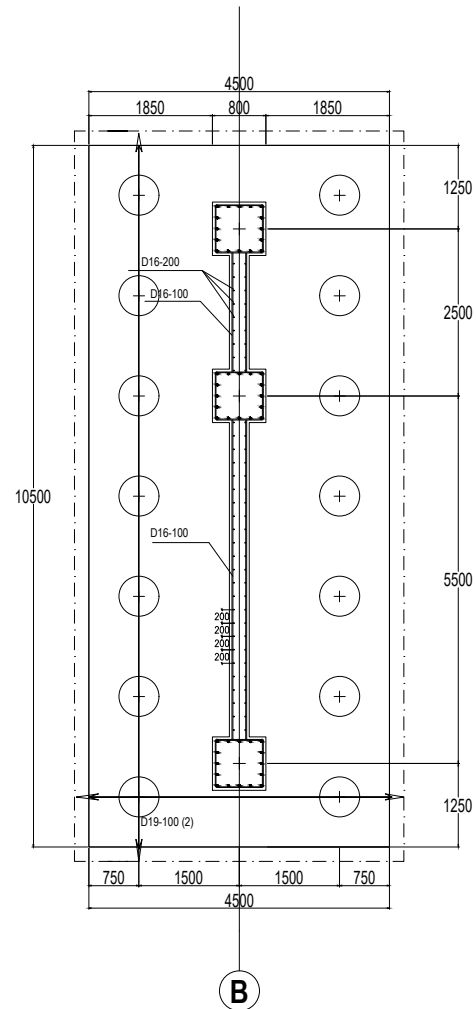
34

Jumlah Gambar

40



DETAIL SHEAR WALL POT B-B
SKALA : 1:30



DETAIL DENAH SHEAR WALL 3
SKALA : 1:30

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

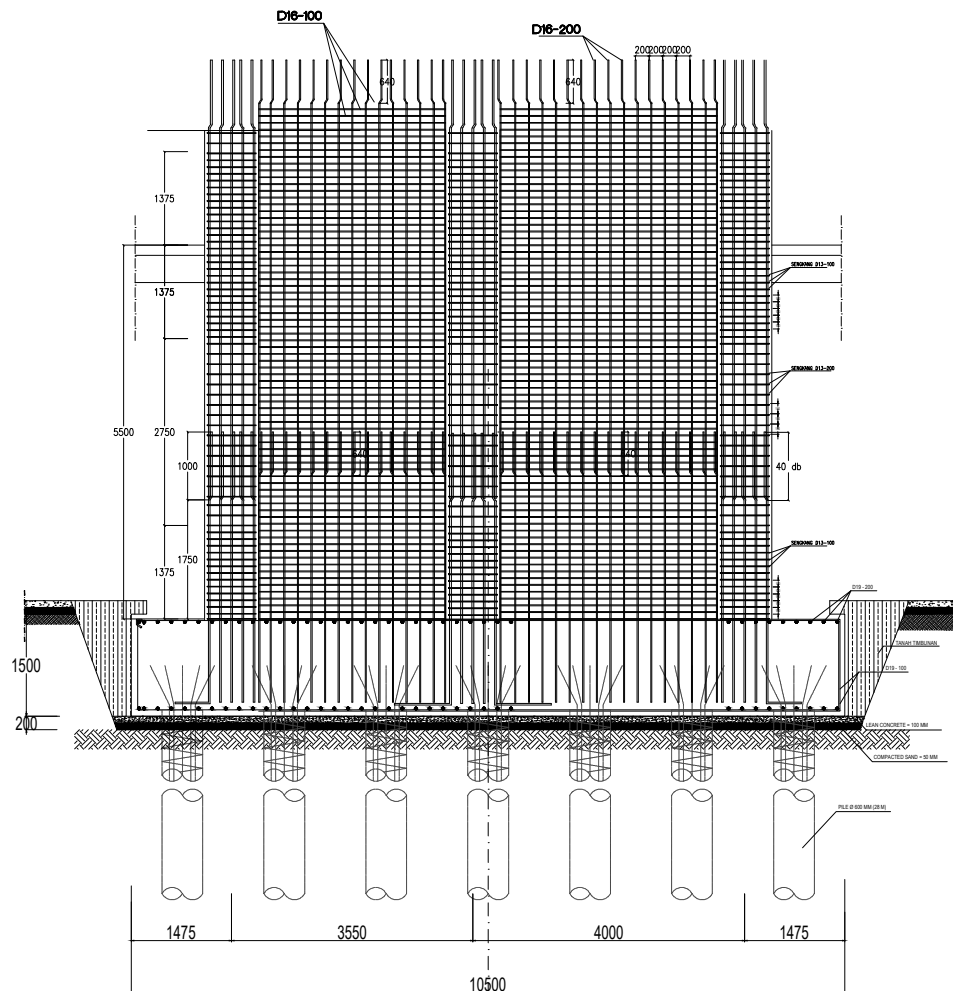
shear wall

Nomor Gambar

35

Jumlah Gambar

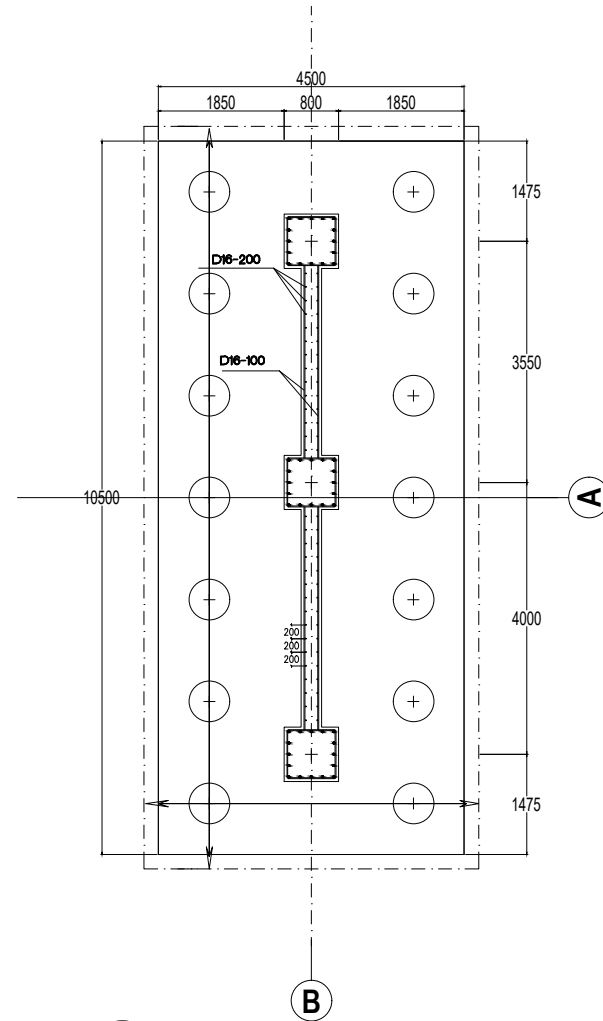
40



*



DETAIL SHEAR WALL POT B-B
SKALA : 1:30



DETAIL DENAH SHEAR WALL 2
SKALA : 1:30

C:\Users\User\Downloads\gambar\shear wall.png

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

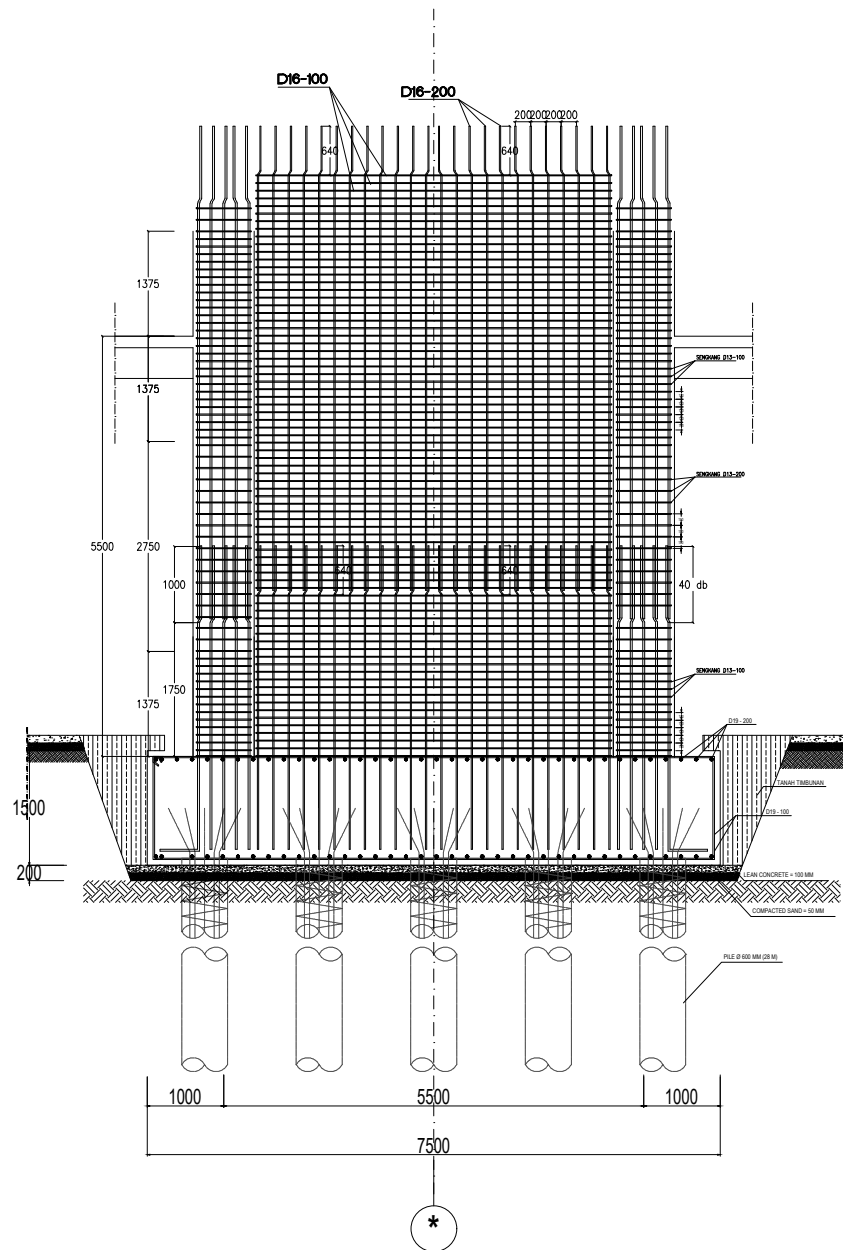
shear wall

Nomor Gambar

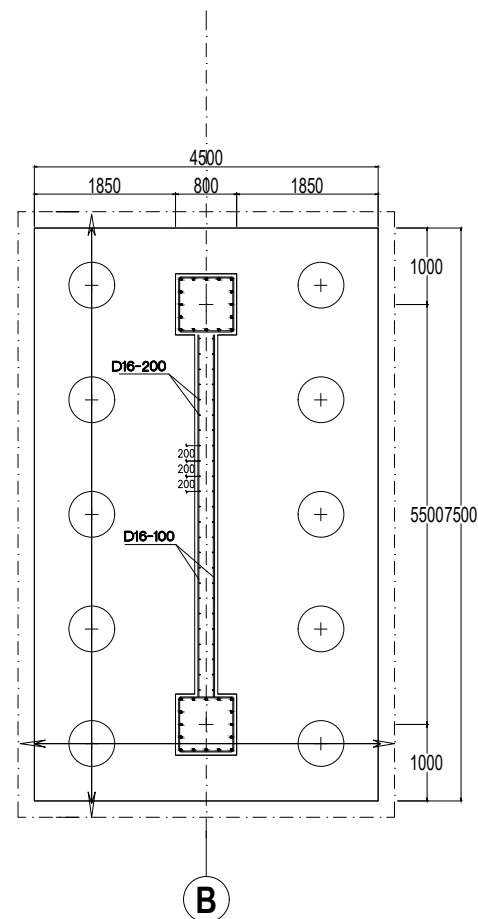
Jumlah Gambar

36

40



DETAIL SHEAR WALL POT B-B
SKALA : 1:30



DETAIL DENAH SHEAR WALL 1
SKALA : 1:30

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Noverber

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

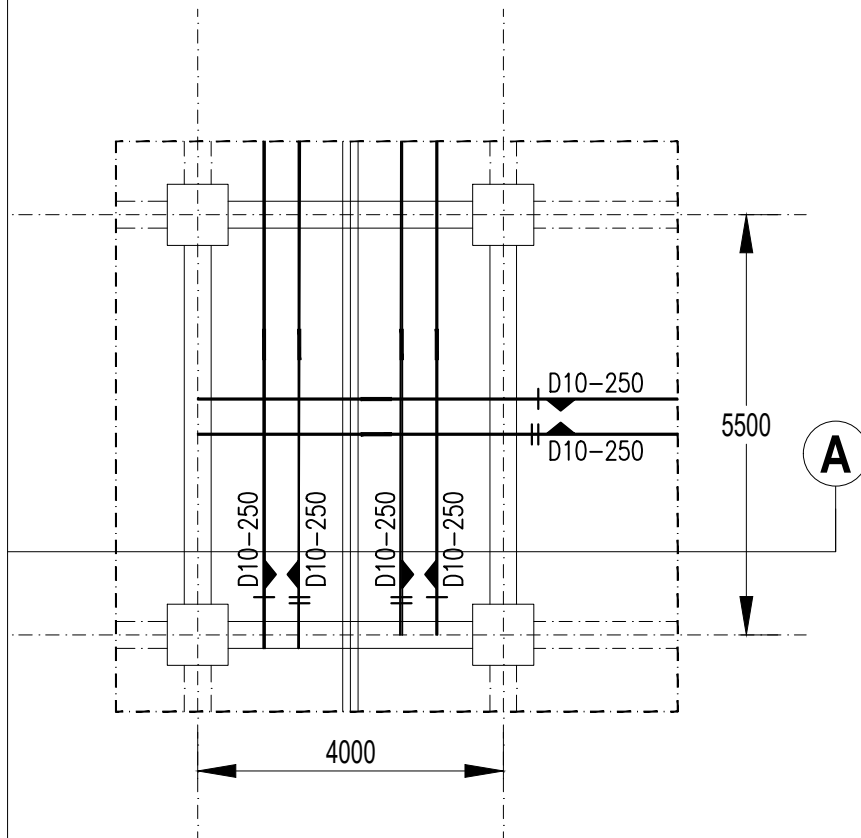
shear wall

Nomor Gambar

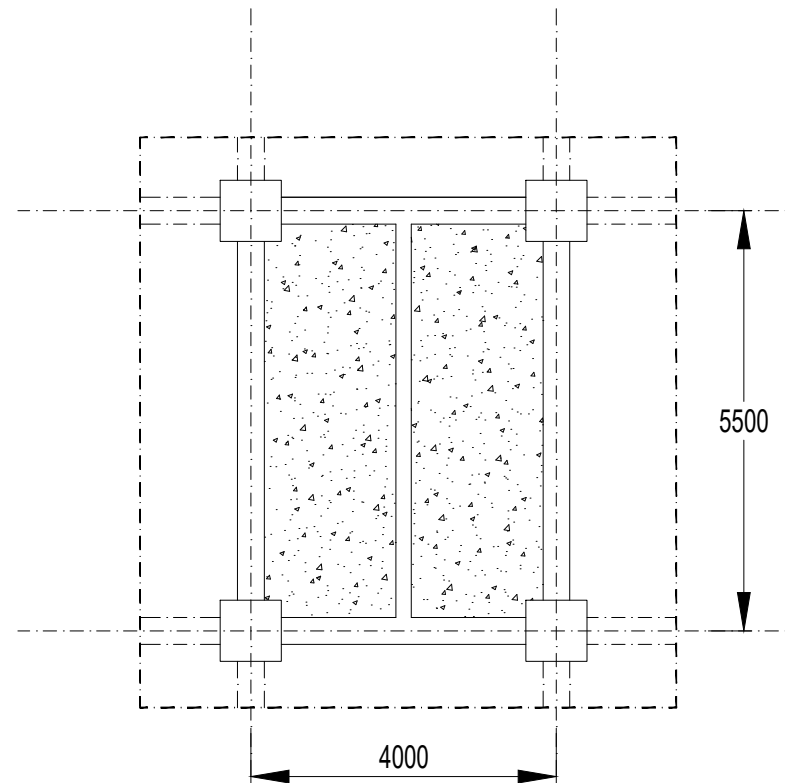
Jumlah Gambar

37

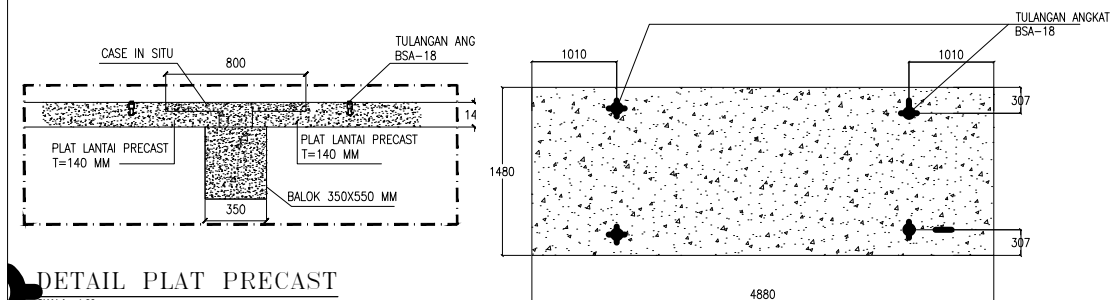
40



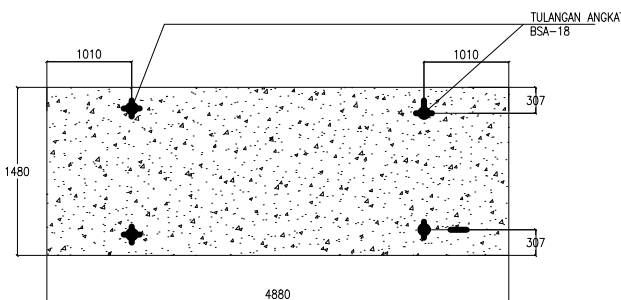
DENAH PENULANGAN PLAT LANTAI
SKALA : 1:30



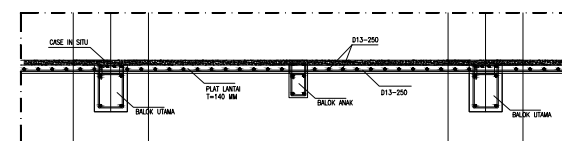
DENAH PLAT LANTAI
SKALA : 1:30



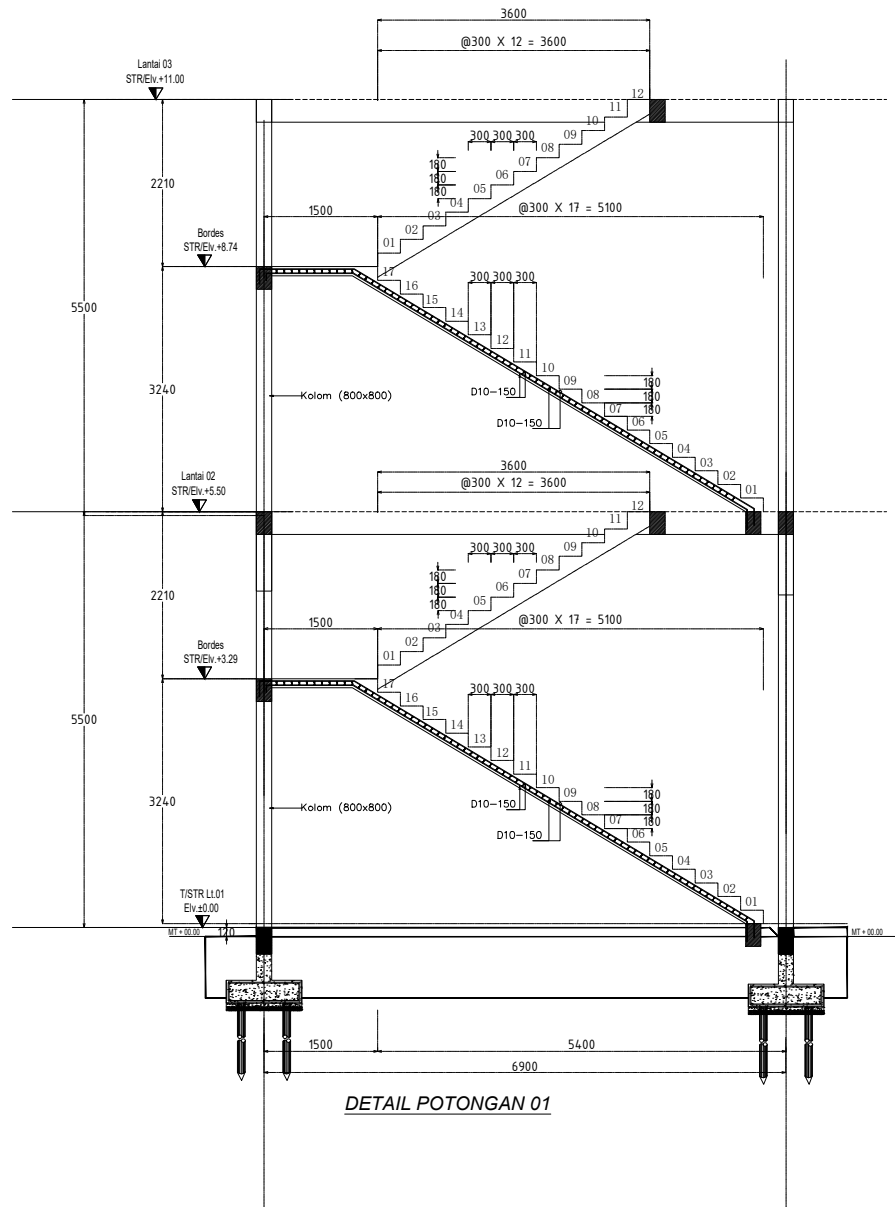
DETAIL PLAT PRECAST
SKALA : 1:30



PEMBANGIAN PLAT PRECAST
SKALA : 1:30



POT A-A PENULANGAN PLAT SATU LAPIS
SKALA : 1:30



DETAIL POTONGAN 01



DETAIL POTONGAN TANGGA
SKALA : 1:20

C:\Users\user\Downloads\ambarang-ho-ber-vit.png

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Noverber

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

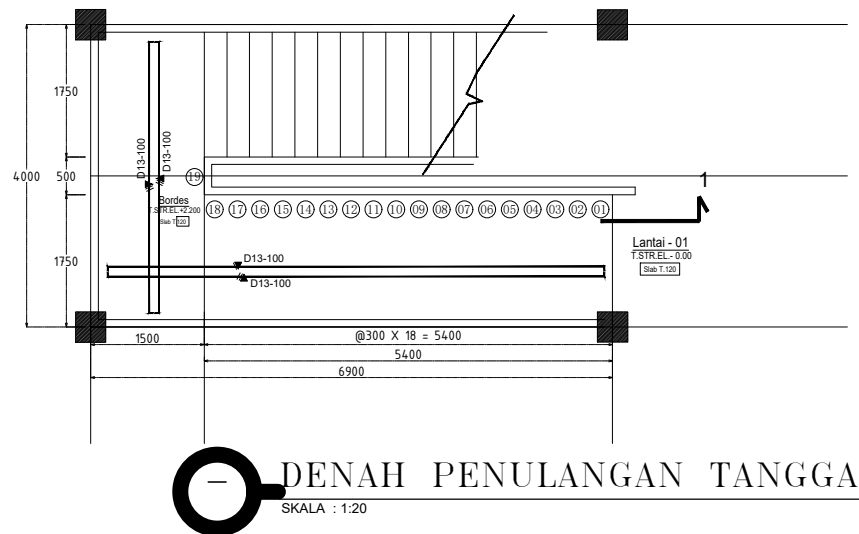
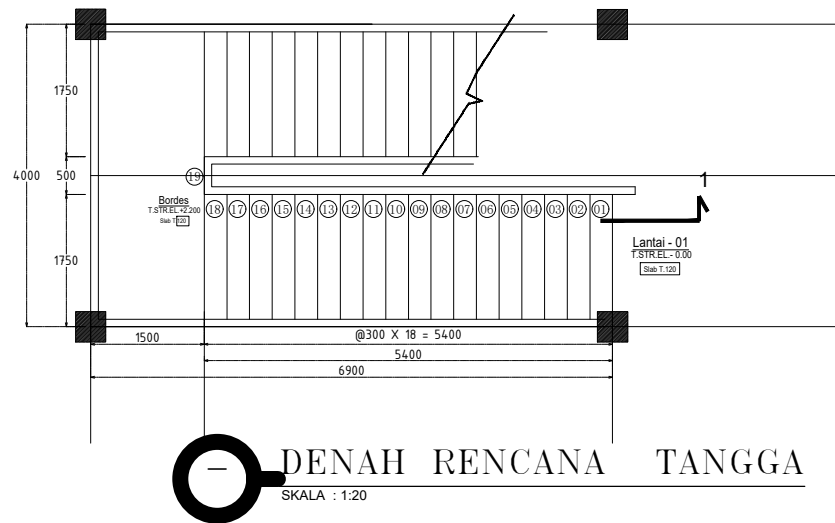
Potongan Tangga

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

39

40



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh November

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Sondha Mahendra

Nama Gambar

Potongan Tangga

Nomor Gambar	Jumlah Gambar
40	40

BIODATA PENULIS



Sondha Mahendra Lahir di Bekasi, Jawa Barat pada tanggal 30 Mei 1995, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Mutiara 17 Agustus, SMP Negeri 1 Bekasi, dan SMA Negeri 1 Bekasi. Kemudian Penulis melanjutkan pendidikan program sarjana (S1) di Institut Teknologi

Sepuluh Nopember Departemen Teknik Sipil pada tahun 2013 melalui program SNMPTN 2013 dan terdaftar dengan NRP. 3113100027. Gelar Sarjana Teknik di peroleh penulis pada tahun 2018 dengan judul Tugas Akhir “*Perencanaan Modifikasi Gedung Brooklyn Serpong Menggunakan Precast Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)* ”. Penulis sangat berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta bagi penulis sendiri. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis, dapat melalui email : sondha.mahendra@gmail.com .